

Felipe Paulo de Oliveira

**MAPEAMENTO GEOTÉCNICO PRELIMINAR E APLICAÇÃO  
DO MODELO SHALSTAB NA ANÁLISE DE  
ESCORREGAMENTOS DA BACIA DE SANTO ANTÔNIO DE  
LISBOA – FLORIANÓPOLIS/SC**

Trabalho de Conclusão de Curso  
submetido ao Curso de Graduação da  
Universidade Federal de Santa  
Catarina para a obtenção do Grau de  
Engenheiro Civil.

**Orientador:** Prof. Dr. Rafael Augusto  
dos Reis Higashi

Florianópolis  
2014

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária  
da UFSC.

Oliveira, Felipe Paulo de

Mapeamento geotécnico preliminar e aplicação do Modelo SHALSTAB na análise de escorregamentos da Bacia de Santo Antônio de Lisboa – Florianópolis/SC / Felipe Paulo de Oliveira ; orientador, Rafael Augusto dos Reis Higashi – Florianópolis, SC, 2014. 191 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Mapeamento Geotécnico. 3. Sistemas de Informações Geográficas. 4. Modelo Shalstab. I. Higashi, Rafael Augusto dos Reis. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

FELIPE PAULO DE OLIVEIRA

**MAPEAMENTO GEOTÉCNICO PRELIMINAR E APLICAÇÃO  
DO MODELO SHALSTAB NA ANÁLISE DE  
ESCORREGAMENTOS DA BACIA DE SANTO ANTÔNIO DE  
LISBOA – FLORIANÓPOLIS/SC**

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do diploma de graduação em Engenharia Civil e aprovado em sua forma final pelo departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 11 de julho de 2014.

Prof. Luis Alberto Gómez, Dr.  
Coordenador do Curso

Apresentado para a banca examinadora composta pelos professores:



Prof. Rafael Augustos dos Reis Higashi, Dr.  
Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Prof. Orlando Martini de Oliveira, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Eng. Civil Rodrigo Bim.  
Examinador Externo





## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Enio e Eliete, meus irmãos, Eduardo e Eleonora, minhas cunhadas, Tatiane e Garance, por todo o apoio e motivação.

À minha namorada Beatriz Nunes, por todo o amor, carinho, compreensão e principalmente motivação.

Ao meu orientador, Professor Dr. Rafael Augusto dos Reis Higashi, por todo o auxílio e orientação.

Ao mestrando Rodrigo Bim, por toda a parceria realizada e os ensinamentos repassados, tanto em campo quanto em laboratório.

Ao Professor Dr. Orlando Martini de Oliveira, pelas correções e conhecimentos divididos.

Ao Laboratório de Mapeamento Geotécnico (LAMGEO), em especial ao Professor Dr. Murilo Espíndola, Aline Steffens e Rodrigo Costa do Amaral, pelo auxílio nos ensaios laboratoriais.

Aos colegas Hugo Namba Imai, Luiz Henrique Guesser e Manolo Caramenz por todo o material compartilhado.

A todo o corpo docente, direção e administração do curso de graduação em Engenharia Civil, pelo conhecimento repassado e experiências compartilhadas.

A todos que, direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.



## RESUMO

A maioria dos desastres naturais do Brasil estão associadas às instabilidades atmosféricas, que tendem a ficar mais intensas, concentradas e mal distribuídas. Isso, somado a má gestão pública e crescimento desordenado das áreas de encostas, podem ocasionar ou intensificar problemas como a erosão, deslizamentos de terra e rocha, além das perdas monetárias e os inestimáveis riscos à saúde e vida da população.

Este trabalho visa elaborar o mapa geotécnico da Bacia de Santo Antônio de Lisboa, seguido de uma análise de suscetibilidade a escorregamentos rasos com a utilização de um modelo matemático denominado Modelo SHALSTAB, através de um algoritmo modificado por Michel (2013), em ambiente SIG. Foram necessários, para este fim, a obtenção de subprodutos como mapa de declividades, modelo digital do terreno, mapa de sumidouros, de direções de fluxo e de contribuição, além do uso de parâmetros de solo obtidos com os ensaios laboratoriais.

O mapa geotécnico preliminar foi elaborado segundo a Metodologia Davison Dias (1995).

O mapa de suscetibilidade a escorregamentos foi elaborado para diferentes cenários, com profundidades de ruptura variáveis.

Como resultado obteve-se o mapa geotécnico preliminar da Bacia de Santo Antônio de Lisboa, composto por duas unidades geotécnicas, e fez-se uma análise da suscetibilidade a escorregamentos da bacia para diferentes profundidades de ruptura.

**Palavras-chave:** Mapeamento geotécnico. Modelo Shalstab. Movimentos de massa.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Horizontes de solo .....	24
Figura 2-Rastejos .....	31
Figura 3-Escorregamento Rotacional .....	32
Figura 4-Escorregamento Translacional .....	33
Figura 5-Escorregamento em cunha.....	33
Figura 6-Aplicações da tecnologia SIG.....	39
Figura 7-Arquitetura de um SIG .....	41
Figura 8-Diferentes Representações matriciais para um mapa.....	43
Figura 9-Elementos de representação vetorial. ....	44
Figura 10-Estruturação de organização das informações no Arcview. .	48
Figura 11-Fluxograma metodologia de cartografia geotecnica aplicada no IPT.....	58
Figura 12-Roteiro Metodologico para elaboração de cartas de risco. ...	59
Figura 13-Princípio básico da metodologia Davison Dias (1995).....	62
Figura 14-Simbologia das unidades geotécnica segundo Davison Dias (1995). ....	62
Figura 15-Cruzamento de mapas pela Metodologia Davison Dias. ....	64
Figura 16- Exemplo de definição de ponto de coleta. ....	65
Figura 17-Diagrama da metologia proposta por Higashi. ....	67
Figura 18-Representação do modelo hidrológico de estado uniforme. .	69
Figura 19-Classes de estabilidade. ....	73
Figura 20-Localização de Florianópolis. ....	75
Figura 21-Mapa Hidrográfico de Florianópolis. ....	77
Figura 22 Frequencia de ocorrencia dos ventos em Florianópolis. ....	79
Figura 23-Velocidade dos ventos em Florianópolis. ....	79
Figura 24 Perfil longitudinal da Ilha de SC.....	81
Figura 25-Fotografia aérea do corte do Morro do Cacupé (1979). ....	87
Figura 26-Fluxo de água no talude.....	88
Figura 27-Corte do talude após o retaludamento. ....	88
Figura 28-Banqueta obstruída por erosão e escorregamentos pequeno. 89	
Figura 29-Escorregamento deflagrado e rodovia atingida. ....	89
Figura 30-Região do dique localizada acima do escorregamento. ....	90
Figura 31 Seção da área do escorregamento. ....	91
Figura 32 Detalhe do processo de restituição do mapa topográfico .....	98
Figura 33 Processo de cruzamento de mapas para obtenção das Unidades Geotécnicas .....	99
Figura 34 Mapa Geológico da Bacia de Santo Antonio de Lisboa .....	99
Figura 35 Mapa Pedológico da Bacia de Santo Antonio de Lisboa ....	100
Figura 36 Nomenclatura utilizada nas unidades geotécnicas. ....	101

Figura 37 Pontos de coleta das amostras.....	102
Figura 38 Processo de coleta de amostras.....	103
Figura 39 Pontos de ensaio DPL.....	105
Figura 40 Execução do DPL e detalhe das hastes.....	106
Figura 41 Detalhe do aparelho DPL quebrado.....	107
Figura 42 Gráfico para a determinação expedita MCT pelo método das pastilhas.....	110
Figura 43 Equipamento de cisalhamento direto - Célula.....	113
Figura 44 Equipamento de cisalhamento direto - Prensa.....	113
Figura 45 Obtenção da envoltória de ruptura de Mohr-Coulomb.....	114
Figura 46 Preparação e execução do ensaio de permeabilidade.....	116
Figura 47 Modelo Digital de Elevações.....	119
Figura 48 Mapa de Declividades.....	121
Figura 49 Tratamento de picos e sumidouros.....	122
Figura 50 Mapa de Sumidouros.....	123
Figura 51 Fluxo da água de acordo com as elevações.....	124
Figura 52 Vetores de direção de fluxo conforme a cor e valor.....	124
Figura 53 Mapa de Direções de Fluxo.....	125
Figura 54 Criação de rede de fluxo a partir das direções de fluxo.....	126
Figura 55 Mapa de Contribuição.....	127
Figura 56 Mapa de Peso Específico Natural.....	128
Figura 57 Mapa de Ângulos de Atrito.....	129
Figura 58 Mapa de coesão dos solos.....	130
Figura 59 Mapa de Peso Específico Saturado.....	131
Figura 60 Mapa Geotécnico Preliminar com a nomenclatura adotada por Davison Dias (1995).....	134
Figura 61 Mapa Geotécnico Corrigido.....	135
Figura 62 Horizontes de solo característicos da região.....	136
Figura 63 Resultados do ensaio MCT dos solos da bacia de Santo Antônio de Lisboa.....	140
Figura 64 Execução dos ensaios MCT nos pontos T3, T4, T5 e T6... ..	143
Figura 65 Resultados da Análise Granulométrica dos solos da bacia.....	144
Figura 66 Resultados da Análise Granulométrica dos solos da bacia.....	145
Figura 67 Resultados do ensaio de cisalhamento direto do Talude 1.....	147
Figura 68 Resultados do ensaio de cisalhamento direto do Talude 2.....	147
Figura 69 Resultados do ensaio de cisalhamento direto do Talude 3.....	148
Figura 70 Resultados do ensaio de cisalhamento direto do Talude 4.....	148
Figura 71 Resultados do ensaio de cisalhamento direto do Talude 5.....	149
Figura 72 Resultados do ensaio de cisalhamento direto do Talude 6.....	149
Figura 73 Resultado comparativo entre os resultados dos ensaios de cisalhamento direto.....	150

Figura 74 Amostra perdida e concreções no anel de cisalhamento. ....	151
Figura 75 Veios argilizados formando planos de fraqueza no horizonte C dos solos da região.....	152
Figura 76 Veios argilizados no horizonte C dos solos da região.....	154
Figura 77 Toposequência DPL no TS1. ....	155
Figura 78 Toposequência DPL no TS2. ....	157
Figura 79 Afloramentos de rocha e matacões na região de estudo.....	158
Figura 80 Comparação MDE e Declividades.....	159
Figura 81 Cenário I de análise de suscetibilidade a deslizamentos. ....	161
Figura 82 Cenário II de análise de suscetibilidade a deslizamentos....	162
Figura 83 Cenário III de análise de suscetibilidade a deslizamentos. .	163
Figura 84 Cenário IV de análise de suscetibilidade a deslizamentos. .	164
Figura 85 Cenário V de análise de suscetibilidade a deslizamentos. ..	165
Figura 86 Cenário VI de análise de suscetibilidade a deslizamentos. .	166
Figura 87 Cenário VII de análise de suscetibilidade a deslizamentos.	167
Figura 88 Cenário VIII de análise de suscetibilidade a deslizamentos. ....	168
Figura 89 Cenário IX de análise de suscetibilidade a deslizamentos. .	169
Figura 90 Cenário X de análise de suscetibilidade a deslizamentos. ..	170





## LISTA DE QUADROS

Quadro 1-Grupos de solos segundo a classificação MCT.....	26
Quadro 2-Classificação dos movimentos de massa.....	28
Quadro 3-Classificação dos movimentos de massa.....	29
Quadro 4-Classificação conforme a velocidade do movimento de massa .....	30
Quadro 5-Classificação conforme a profundidade do movimento de massa.....	30
Quadro 6-Comparação entre cartografia tradicional e cartografia usando SIG. ....	38
Quadro 7-Comparação entre representações vetoriais e matriciais. ....	45
Quadro 8-Elementos a considerar na elaboração de mapas geotécnicos. .....	54
Quadro 9-Fatores que influenciam a qualidade de mapas geotécnicos. ....	54
Quadro 10-Metodologias Internacionais de Mapeamento Geotécnico. ....	55
Quadro 11-Simbologia simplificada das classes pedológicas. ....	63
Quadro 12-Simbologia simplificada das classes geológicas. ....	63
Quadro 13-Classes de estabilidade em função da razão $a/b$ e $\tan\theta$ . ....	71
Quadro 14-Evolução Populacional de Florianópolis.....	76
Quadro 15-Coluna estratigráfica de Florianópolis. ....	83
Quadro 16 Classes de relevo conforme o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos.....	94
Quadro 17 Identificação de espessura de horizonte. ....	95
Quadro 18 Mapas utilizados neste trabalho.....	97
Quadro 19 Litologia em função da geologia. ....	100
Quadro 21 Coordenadas dos pontos de coleta de amostras.....	104
Quadro 22 Coordenadas dos pontos de ensaio DPL .....	106
Quadro 23 Parâmetros de entrada do modelo SHALSTAB. ....	117
Quadro 24 Classes de relevo segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos. ....	120
Quadro 25 Característica gerais das unidades geotécnicas .....	139
Quadro 26 Resultados do ensaio MCT dos solos da bacia de Santo Antônio de Lisboa .....	140
Quadro 27 Resultados do ensaio MCT dos solos da bacia de Santo Antônio de Lisboa .....	141
Quadro 28 Descrição das unidades alcançadas pelo ensaio MCT.....	142
Quadro 29 Resultados dos Índices Físicos dos solos da bacia .....	143
Quadro 30 Resultados da Análise Granulométrica dos solos da bacia (%). ....	145
Quadro 31 Resultados dos Limites de Atterberg dos solos da bacia...	146

Quadro 32 Resumo dos parâmetros de resistência dos solos da bacia de Santo Antônio de Lisboa.....	150
Quadro 33 Alguns valores de coesão e ângulo de atrito dos solos PVg da região de estudo. ....	151
Quadro 34 Coeficientes de permeabilidade característicos.....	153
Quadro 35 Coeficientes de permeabilidade .....	153
Quadro 36 Cenários de análise de suscetibilidade a deslizamentos rasos .....	160

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
1.1. OBJETIVO GERAL.....	18
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>21</b>
2.1. PEDOLOGIA.....	21
2.1.1. Classificação dos solos.....	22
2.1.1.1. <i>Classificação Geotécnica</i> .....	22
2.1.1.2. <i>Classificação Pedológica</i> .....	23
2.1.1.3. <i>Outras classificações</i> .....	25
2.2. MOVIMENTOS DE MASSA .....	26
2.2.1. Classificação dos movimentos de massa .....	27
2.2.1.1. <i>Rastejos</i> .....	30
2.2.1.2. <i>Escorregamentos</i> .....	31
2.2.1.3. <i>Quedas</i> .....	34
2.2.1.4. <i>Corridas</i> .....	34
2.2.2. Causas e indicadores de instabilidade nas encostas.....	35
2.3. SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG).....	36
2.3.1. Os conceitos de SIG. ....	36
2.3.2. Conceitos estruturais de um SIG .....	40
2.3.2.1. <i>Base de Dados</i> .....	42
2.3.2.2. <i>Dados Raster (Matriciais)</i> .....	42
2.3.2.3. <i>Dados Vetoriais</i> .....	44
2.3.2.4. <i>Comparação entre as representações matricial e vetorial</i> .....	45
2.3.3. Banco de Dados .....	46
2.3.4. SIG no Mapeamento Geotécnico .....	46
2.3.5. O Software ArcView .....	47
2.4. ÁREAS DE RISCO.....	48
2.4.1. Conceitos.....	48
2.4.2. Avaliação e Mapeamento de Áreas de Risco .....	50
2.4.3. Mapeamento de áreas suscetíveis ao deslizamento .....	51
2.5. MAPEAMENTO GEOTÉCNICO .....	52
2.5.1. Histórico.....	55
2.5.2. Metodologias Nacionais.....	56
2.5.2.1. <i>Metodologia IPT</i> .....	56
2.5.2.2. <i>Metodologia UNESP/Rio Claro</i> .....	58
2.5.2.3. <i>Metodologia EESC/USP – (Zuquette – 1987)</i> .....	59
2.5.2.4. <i>Metodologia da UFRGS (Davison Dias – 1995)</i> .....	60
2.5.2.5. <i>Metodologia proposta por Higashi (2006)</i> .....	64
2.6. MODELO SHALSTAB .....	68
2.6.1. Modelo de Estabilidade de Encosta.....	68
2.6.2. Modelo Hidrológico de Estado Uniforme .....	69

2.6.3. Combinação dos Modelos.....	70
<b>3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>75</b>
3.1. DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	75
3.2. HIDROGRAFIA.....	76
3.3. CLIMA .....	78
3.4. FLORA E VEGETAÇÃO.....	80
3.5. GEOMORFOLOGIA E RELEVO .....	80
3.6. GEOLOGIA.....	81
3.6.1. Sedimentos Subatuais Marinhos (QPm) .....	83
3.6.2. Suíte Intrusiva Pedras Grandes – Granito Ilha (PS&pgb)....	84
3.7. PEDOLOGIA .....	84
3.7.1. Areia Quartzosa Marinha Álica (Amaf).....	85
3.7.2. Argissolos/Podzólico Vermelho-Amarelo Álico (PVa18)....	85
3.8. ESCORREGAMENTOS ANTERIORES.....	86
3.8.1. O Escorregamento de 1996.....	86
3.8.2. O Escorregamento de 2008.....	90
3.8.3. Considerações .....	91
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>93</b>
4.1. A METODOLOGIA DAVISON DIAS (1995).....	94
4.2. LEVANTAMENTO DE DADOS EXISTENTES.....	97
4.3. EDIÇÃO DOS MAPAS E INSERÇÃO NO ARCGIS 9.3.....	98
4.4. ELABORAÇÃO DO MAPA GEOTÉCNICO PRELIMINAR.....	98
4.5. DEFINIÇÃO DOS PONTOS DE COLETA DE AMOSTRAS.....	101
4.6. DEFINIÇÃO DOS PONTOS PARA TOPOSEQUÊNCIA (DPL).....	104
4.7. EXECUÇÃO DE ENSAIOS LABORATORIAIS.....	107
4.7.1. Ensaios de Caracterização.....	107
4.7.2. Ensaio de Cisalhamento Direto.....	111
4.7.2.1. Procedimento .....	112
4.7.2.2. Resultados do ensaio.....	114
4.7.3. Ensaios de Permeabilidade.....	115
4.8. APLICAÇÃO DO MODELO SHALSTAB .....	116
4.8.1. Modelo Digital de Elevações – MDE .....	118
4.8.2. Mapa de Declividades.....	120
4.8.3. Mapa de Sumidouros .....	122
4.8.4. Mapa de Direções de Fluxos .....	124
4.8.5. Mapa de Contribuição.....	126
4.8.6. Mapas dos Parâmetros Físicos dos Solos .....	127
<b>5. RESULTADOS .....</b>	<b>133</b>
5.1. RESULTADOS - MAPA GEOTÉCNICO PRELIMINAR.....	133
5.1.1. Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato Granito (PVg)136	
5.1.2. Areia Quartzosa de substrato Sedimentos Quaternários ....	138
5.1.3. Características gerais das Unidades Geotécnicas.....	138
5.2. RESULTADOS – ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA.....	140
5.3. RESULTADOS – ENSAIOS DOS PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA .....	147
5.4. RESULTADOS – ENSAIOS DE PERMEABILIDADE .....	153

5.5. RESULTADOS – TOPOSEQUÊNCIAS POR DPL.....	155
5.6. RESULTADOS – MAPA DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS RASOS – MODELO SHALSTAB .....	158
6. CONCLUSÕES .....	173
7. SUGESTÕES .....	175
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	177



## 1. INTRODUÇÃO

A macrorregião da Grande Florianópolis experimentou, entre 2000 e 2010, uma média de crescimento populacional de aproximadamente 2,30% ao ano. Isso representa um acréscimo, ao longo desta década, de 752.217 para 925.576 habitantes, segundo dados do IBGE. Destes, 421.240 habitantes vivem na capital, cuja população urbana representa 405.286 habitantes, ou seja, 96% da população total do município. Em uma área de 671,60 Km<sup>2</sup>, Florianópolis apresenta uma densidade demográfica de 627,24 Hab/Km<sup>2</sup>.

O uso e ocupação do solo na cidade, entretanto, nunca foi bem elaborado. Segundo Andrade (2006), o Plano Diretor de Florianópolis de 1988 permitia construção em qualquer setor de encostas com declividades inferiores a 30%, o que não evitou o processo de “favelização” de setores íngremes das encostas.

Esse aumento populacional, somado a má gestão da política de uso do solo e a ausência de políticas públicas fiscalizadoras, provoca um crescimento desordenado e perigoso nas adjacências das áreas de encosta da cidade, o que pode ocasionar ou intensificar problemas como a erosão, deslizamentos de terra e rocha, além das perdas monetárias e os inestimáveis riscos à saúde e vida da população.

Raimundo (1998) fez um levantamento dos registros referentes a escorregamentos em Florianópolis encontrados de 1960 a 1996, encontrando 236 casos relatados. O autor acrescentou ainda que, à exceção dos solos ligados ao contato granito/diabásio, os escorregamentos têm ocorrido nas áreas mais povoadas, essencialmente nos morros.

Em novembro de 2008, o estado de Santa Catarina vivenciou uma série de desastres naturais caracterizados, em sua maioria, como escorregamentos de encostas. Foram 135 mortes e dois desaparecimentos, segundo os dados da Defesa Civil de Santa Catarina, sendo que mais de 97% das mortes foram causadas por soterramento. Estes desastres estão associados à ocorrência de chuvas intensas e um volume anormal, comparados a séries históricas.

Isso ratifica o que diz Marcelino (2008), segundo o qual a maioria dos desastres no Brasil está associada às instabilidades atmosféricas severas. E o autor relata, ainda, que as precipitações no Sul e Sudeste do Brasil, onde ocorreram mais de 60% dos casos relatados de desastres entre os anos de 1900 e 2006, devem ficar cada ano mais intensas, concentradas e mal distribuídas.

Raimundo (1998), entretanto, não enxerga um patamar crítico de eventos pluviométricos que detonariam fenômenos de instabilidade, visto que muitos casos pré-existentis ocorreram sob condições pluviométricas normais ou de baixa intensidade.

De conhecimento destes dados, percebe-se a extrema relevância do mapeamento de áreas de risco, pois de uso destes mapas, os administradores públicos podem direcionar o crescimento da cidade, aliviando a possibilidade de desastres com números fatais e perdas sociais.

De acordo com Mafra Junior (2007), o mapeamento e estudo dos solos têm se mostrado eficientes frente aos problemas constantes na natureza, como a estabilidade de taludes, compressibilidade de terrenos, erodibilidade dos solos, dentre outros.

Por esse motivo, a obtenção de dados coerentes sobre as propriedades do solo é importantíssimo para que se realize um mapeamento geotécnico confiável, que possa vir a ser usado na elaboração de um banco de dados geotécnicos.

De uso das geotecnologias, representadas principalmente pelo geoprocessamento e os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), pode-se manipular e analisar as informações armazenadas nestes bancos de dados, possibilitando a geração de mapas temáticos que delimitam áreas de comportamento geotécnico uniforme.

Neste trabalho, se utilizará o Modelo SHALSTAB, desenvolvido por Dietrich e Montgomery (1998) para se aplicar em ambiente SIG, a fim de se identificar as áreas suscetíveis a deslizamentos rasos na Bacia de Santo Antônio de Lisboa.

### 1.1. OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral a confecção de um mapa geotécnico preliminar da bacia hidrográfica de Santo Antônio de Lisboa, situada em Florianópolis/SC. Serão estimados, ainda, mapas de suscetibilidade a escorregamentos de encostas através do modelo SHALSTAB, em ambiente SIG.

### 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar e obter mapas topográficos, hidrológicos e geológicos da área de estudo;
- Executar toposequências com o uso de DPL;
- Executar ensaios para caracterização geotécnica;



- Mapear as unidades geotécnicas da área de estudo;
- Reproduzir mapas temáticos visando à aplicação do Modelo SHALSTAB;
- Modelar informações no Shalstab;
- Analisar as áreas suscetíveis a deslizamentos da bacia de estudo.



## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão realizadas as abordagens conceituais necessárias para o embasamento deste trabalho. Os assuntos serão abordados em subdivisões, sendo elas: Pedologia, Movimentos de Massa, Sistema de Informações Geográficas (SIG), Áreas de Risco, Mapeamento Geotécnico e Modelo SHALSTAB.

### 2.1. PEDOLOGIA

A Pedologia é uma palavra de origem grega que significa ciência que estuda o solo. Erroneamente tratada como geologia pelos leigos, a pedologia é a responsável pelo estudo da origem do solo, sua morfologia e classificação, enquanto a geologia responsabiliza-se pelo estudo das rochas e minerais, caracterizando suas composições, estruturas e propriedades físicas.

De forma geral, o solo é o manto de intemperismo que recobre as rochas, de espessura variável, que perde resistência em contato com a água, que pode ser escavável e que passa gradativamente para a rocha fresca, inalterada (GEORIO, 2000).

Todos os solos se formam da decomposição das rochas, através de intemperismo físico e químico. No intemperismo físico as rochas são fraturadas, sem qualquer alteração da composição química, enquanto que, no intemperismo químico, os minerais das rochas são transformados em novos minerais através de reações químicas (DAS, 2007).

Os principais agentes físicos do intemperismo são o vento, a água, o gelo e a temperatura, sendo a água e a temperatura também considerados como principais agente químicos. Explica-se: as variações de temperatura podem provocar trincas nas rochas, nas quais penetram água que acabam atacando quimicamente os minerais. Essa água, quando congelada, pode gerar tensões elevadas, provocando a fragmentação dos blocos de rocha (PINTO, 2000).

O conjunto desses processos, muito mais atuante em climas quentes do que em climas frios, leva a formação dos solos, que são compostos pela mistura de partículas de diferentes granulometrias e composição química.

Como esses processos físicos e químicos acontecem ao longo de um tempo de escala geológica (milhões a bilhões de anos), os solos podem ser entendidos como registros visíveis dos processos geológicos passados, sendo possível verificar uma passagem gradativa entre o solo

e a rocha. É por isso que Caputo (1988) foi feliz ao afirmar que a geologia é o “estudo do passado a luz do presente”, ao passo que a pedologia é o “estudo do presente a luz do passado”.

### **2.1.1. Classificação dos solos**

A classificação dos solos é importante, pois individualiza grupos de solos com características semelhantes. Existem muitos sistemas de classificação dos solos, que levam em conta tanto a sua origem e formação como as características dos grãos que os constituem, sendo cada uma mais satisfatória para uma finalidade específica.

#### *2.1.1.1. Classificação Geotécnica*

A classificação geotécnica leva em conta a origem do solo. Os solos resultantes do intemperismo podem permanecer no mesmo lugar ou ser transportados para outros lugares por agentes físicos ou antrópicos, sendo necessário classificar os solos de acordo com sua origem e formação. Através dessa base conceitual, Das (2007) classificou os solos em dois tipos:

- Solos Residuais: são os solos formados por produtos do intemperismo da rocha de origem e que permanecem no mesmo lugar. Uma característica importante dos solos residuais é a gradação do tamanho das partículas, onde o tamanho dos grãos aumenta com a profundidade, assim como sua densidade e resistência. A estrutura deste tipo de solo aproxima-se da estrutura da rocha de origem com o aumento da profundidade.
- Solos Sedimentares: são aqueles que foram levados ao seu local atual por algum agente de transporte. As características dos solos são funções do agente transportador. Eles podem ser classificados, dentre outros, como:
  - Coluvionares: solos formados sob ação da gravidade, como os escorregamentos de terra;
  - Aluvionares: solos resultantes do carreamento pela água;
  - Eólicos: solos transportados pelo vento.

### *2.1.1.2. Classificação Pedológica*

Além da origem e formação dos solos, é necessário analisar as parcelas horizontais que constituem os solos. Além das ações pedogenéticas temporais, o intemperismo dos solos decresce com a profundidade, formando uma sucessão de camadas denominadas horizontes do solo, que são diferenciados, em geral, pela sua cor, textura, estrutura, consistência, etc. Um perfil de intemperismo seria constituído pelos seguintes horizontes, dentre outros:

- a) Horizonte A - é a camada geralmente mais escura, frequentemente alterada pelo homem e resultante da mistura da matéria orgânica superficial com o material mineral, como argila, areia, entre outros. Possui espessuras inferiores a 80 cm e não apresenta muitas aplicações à engenharia geotécnica;
- b) Horizonte B – também denominado solo laterítico ou residual maduro, é a camada imediatamente inferior ao horizonte A. Com pouquíssima matéria orgânica, nesse horizonte predomina o material mineral bastante alterado, impossibilitando o reconhecimento do substrato de origem. Geralmente apresentam coloração amarelo-avermelhado, avermelhado ou marrom. Apresenta espessuras variáveis e grande quantidade de óxido de ferro e alumínio;
- c) Horizonte C - é a camada de solo mais profunda, já sendo possível identificar o material de origem, como fragmentos de rocha e/ou sedimentos. É chamado também de solo residual jovem ou saprolítico;
- d) Horizonte RA – composto por rochas alteradas, que sofreram fraturas através de processos geológicos;
- e) Horizonte R – correspondem a rocha sã, sem qualquer alteração.

**Figura 1- Horizontes de solo**



**Fonte: Ribeiro, 2011.**

É importante ressaltar que nem todos os solos possuem os horizontes bem definidos. A pedologia aprofunda-se no estudo dos horizontes superficiais (A e B) sem se preocupar com os estágios de intemperismo dos demais horizontes (C, R e RA), que ficam a cargo da geologia.

De uma forma geral, os solos podem ser individualizados, de acordo com a sua classificação pedológica. Em Florianópolis, os principais tipos de solos encontrados, são:

- **Areias Quartzosas (Neossolos):** ocorrem em relevos planos ou suave ondulados. São solos que apresentam textura arenosa ao longo do perfil, cor amarelada uniforme abaixo do horizonte A, que é mais escuro, e alta permeabilidade.

- **Cambissolo:** são solos não hidromórficos, ou seja, cujo nível freático não se encontra próximo à superfície. Possuem um horizonte B pequeno e pouco desenvolvido e horizonte C bastante espesso, além de apresentar variações de horizonte A-B-C modestas, mas diferenciáveis. Seu comportamento geotécnico é regido pela rocha de origem, uma vez que o horizonte C pode apresentar vários minerais não decompostos oriundos da rocha.

- **Gleissolos:** correspondem às clássicas argilas moles, de cores neutras e cinza-azuladas, devido à ausência de ferro.

Apresentam horizonte A escuro e tem baixa resistência ao cisalhamento.

- **Solos Orgânicos (Organossolos):** são solos constituídos basicamente de matéria orgânica, que caracterizam-se pelo hidromorfismo e apresentam cores escuras ou pretas. São geralmente encontradas em cotas de relevo mais baixo e, assim como os gleissolos, apresentam baixa resistência ao cisalhamento.

- **Podzólico Vermelho-Amarelo (Argissolos):** Apresentam perfis bem desenvolvidos, de profundidade mediana (1,5 a 2 m), moderadamente ou bem intemperizados. Ocorre geralmente em relevo ondulado e tem um horizonte B vermelho-amarelado, que mostra claramente o acúmulo de argila.

Ressalta-se que a nomenclatura utilizada entre parêntesis corresponde ao novo sistema de classificação dos solos, segundo a EMBRAPA (1999). Optou-se por se manter também a nomenclatura antiga, pois é esta a classificação utilizada na metodologia de mapeamento geotécnico deste trabalho, que será detalhada posteriormente.

### *2.1.1.3. Outras classificações*

Além das classificações citadas acima, existem ainda as classificações que baseiam-se na identificação dos solos segundo suas propriedades texturais e plásticas, características de material deformado. Nesta linha, tem-se os grandes grupos de critérios para classificação dos solos, dentre os quais podem-se destacar a classificação HRB, mais empregada na engenharia rodoviária, e o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS).

No entanto, ao longo dos anos, verificou-se que os resultados obtidos por estas classificações tradicionais nos solos tropicais não correspondiam ao comportamento geotécnico em campo, dadas algumas peculiaridades destes solos. Com a finalidade de melhorar a identificação e caracterização dos solos tropicais, Nogami e Villibor (1995) propuseram uma nova sistemática de classificação denominada MCT (Miniatura Compactada Tropical).

A base da classificação MCT divide os solos em dois grandes grupos, que podem apresentar comportamento laterítico (L) ou não laterítico (N), subdivididos em sete grupos, conforme o Quadro 1.

**Quadro 1-Grupos de solos segundo a classificação MCT.**

<b>LG'</b>	Argilas lateríticas e argilas lateríticas arenosas: Constituem o horizonte B dos latossolos, solos podzólicos e terras roxas estruturadas. Quando apresentam agregados bem desenvolvidos, são altamente permeáveis, apesar de serem granulometricamente argilas e, devido a isto, geram taludes de corte não sujeitos à erosão pluvial.
<b>LA'</b>	Areias argilosas lateríticas: Constituem o horizonte B dos latossolos arenosos e podzólicos ou podzolizados arenosos (textura média). Apresentam matizes vermelho e amarelo, dão cortes firmes, nitidamente trincados, quando expostos às intempéries.
<b>LA</b>	Areias com pouca argila laterítica: Típico de horizonte B das areias quartzosas e regossolos.
<b>NG'</b>	Argilas, argilas siltosas e argilas arenosas não-lateríticas: Solos saprolíticos argilosos, provenientes de rochas sedimentares argilosas ou cristalinas pobres em quartzo e ricas em anfíbólios, piroxênios e feldspato cálcicos. Típicos de vertissolos ou solos transportados.
<b>NS'</b>	Siltes caulíníticos e micáceos, siltes arenosos e siltes argilosos não-lateríticos:
<b>NA'</b>	Areias siltosas e areias argilosas não-lateríticas: Compostos granulometricamente por misturas de areias quartzosas. Geneticamente, os tipos mais representativos são os solos saprolíticos originados de rochas ricas em quartzo, tais como granitos, gnaisses, arenitos e quartzitos impuros.
<b>NA</b>	Areias siltosas com siltes quartzosos e siltes argilosos não-lateríticos: Possuem grãos constituídos essencialmente de quartzo e/ou mica. Praticamente não possuem finos argilosos coesivos siltes caulíníticos.

## 2.2. MOVIMENTOS DE MASSA

A paisagem do nosso planeta é dinâmica, sofrendo mudanças constantes. Parte dessas mudanças necessita de milhares de anos para completar seu ciclo, enquanto outras são perceptíveis à escala de tempo humana.

O termo “movimento de massa” é utilizado na engenharia civil para qualquer tipo de ruptura e deslocamento de solos e rochas sob ação da gravidade. (QUEIROZ, 2009).



A dinâmica de movimentação de massas de solos é complexa, podendo ser originada pela ação de forças internas e externas por meio de agentes geológicos, climáticos, biológicos e humanos. A classificação sobre os movimentos de massa passa por uma variedade de abordagens e conceitos. Souza et al. (2009) acrescentam que a contribuição de outro meio, como a água, se dá pela redução da resistência dos materiais de vertente e/ou pela indução do comportamento plástico e fluido dos solos.

Castro (2003) afirma que os movimentos de massa ocorrem em épocas de chuvas intensas e concentradas, se distribuindo por numerosas cidades brasileiras. Segundo o autor, esses desastres, nitidamente sazonais, assumem proporções de um imenso desastre nacional, quando computados os danos anuais.

A classificação sobre os movimentos de massa passa por uma variedade de abordagens e conceitos.

### **2.2.1. Classificação dos movimentos de massa**

A classificação dos movimentos de massa tem sido realizada por diversos autores. A primeira tentativa de classificação destes movimentos foi feita por Dana em 1862, seguido por Sharpe (1938). O autor classificou os movimentos de massa através dos seguintes parâmetros: velocidade do movimento, tipo de material (rocha ou solo) e quantidade de água e gelo contidos na massa. Os movimentos são divididos em duas categorias principais: fluxos ou corridas (flows) e escorregamentos (slides), sendo que estas categorias subdividem-se em várias outras.

Todas as classificações posteriores foram, de alguma forma, influenciadas pelo trabalho de Sharpe. Dentre estas estão Varnes (1958 e 1978) e Hutchinson (1988).

O Quadro 2 apresenta a classificação proposta por Varnes (1978), a oficial da Associação Internacional de geologia de Engenharia – IAEG

**Quadro 2-Classificação dos movimentos de massa**

Tipo de Movimento			Tipo de Material		
			Rocha	Solo (Engenharia)	
				Grosseiros	Finos
Quedas (fall)			Queda de rocha	Queda de detritos	Queda de terra
Tombamentos (topple)			Tombamento de rocha	Tombamento de detritos	Tombamento de terra
Escorregamento (slide)	Rotacional	Poucas unidades	Escorregamento de rocha	Escorregamento de detritos	Escorregamento de terra
	Translacional	Muitas unidades			
Expansões laterais (lateral spread)			Expansões de rochas	Expansões de detritos	Expansões de terra
Corridas (flow)			Corrida de rochas (rastejo profundo)	Corrida de detritos	Corrida de terra
				(rastejo de solo)	
Complexos (complex)			Combinação de dois ou mais dos principais tipos de movimentos		

**Fonte: Varnes, 1978.**

As classificações brasileiras também foram influenciadas pelo trabalho de Sharpe. A primeira delas, elaborada por Freire em 1965, classifica os movimentos em escoamento (rastejo e corridas), escorregamentos (rotacionais e translacionais), subsidências e desabamentos. É a classificação proposta por Augusto Filho, entretanto, a mais difundida no país para elaboração de mapas de risco. Ela apresenta os principais movimentos na dinâmica ambiental brasileira e suas características, como materiais, velocidade e geometria mobilizada. A classificação é apresentada no Quadro 3.

**Quadro 3-Classificação dos movimentos de massa**

<b>Tipo de Movimento</b>	<b>Características do movimento, material e geometria</b>
Rastejos (creep)	Vários planos de deslocamento (internos) Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada Geometria indefinida.
Escorregamentos (slides)	Poucos planos de deslocamento (externos) Velocidades médias (m/h) a altas (m/s) Pequenos a grandes volumes de material Geometria e materiais variáveis Planares – solos pouco espessos, solo e rochas com um plano de fraqueza Circulares – solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas Em cunha – solos e rochas com dois planos de fraquezas
Quedas (falls)	Sem planos de deslocamento Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado Velocidades muito altas (vários m/s) Material rochoso Pequenos a médios volumes Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc. Rolamento de matacão Tombamento
Corridas (flows)	Muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimento) Movimento semelhante ao de um líquido viscoso Desenvolvimento ao longo das drenagens Velocidades médias a altas Mobilização de solo, rocha, detritos e água Grandes volumes de material Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas.

**Fonte: Augusto Filho, 1992.**

Além disso, os movimentos de massa podem ser classificados de acordo com a profundidade e/ou velocidade do movimento, conforme o Quadro 4 e Quadro 5.

**Quadro 4-Classificação conforme a velocidade do movimento de massa**

<b>Nomenclatura</b>	<b>Velocidade</b>
Extremamente rápido	> 3m/s
Muito rápido	0,3m/s a 3m/s
Rápido	1,6m/dia a 0,3m/s
Moderado	1,6m/mês a 1,6m/dia
Lento	1,6m/ano a 1,6m/mês
Muito lento	0,06m/ano a 1,6m/ano
Extremamente lento	< 0,06m/ano

**Fonte: Thives e Trichês (2009)****Quadro 5-Classificação conforme a profundidade do movimento de massa**

<b>Nomenclatura</b>	<b>Profundidade</b>
Superficial	< 1,5m
Raso	1,5m a 5m
Profundo	5m a 20m
Muito profundo	> 20m

**Fonte: Thives e Trichês (2009)**

Serão aprofundados, neste trabalho, alguns conceitos de movimentos de massa de acordo com a classificação proposta por Augusto Filho (1992).

### *2.2.1.1. Rastejos*

Os rastejos são caracterizados por movimentos lentos de grandes massas de materiais, com deslocamento ao longo do tempo da ordem de mm a cm/ano. Eles podem ser contínuos ou pulsantes, sem apresentar uma superfície de ruptura (plano de movimentação) bem definida. Esse processo atua tanto sobre os horizontes superficiais do solo como nos horizontes de transição solo/rocha, e até mesmo em rocha, em profundidades maiores.

Wolle (1980 apud Freire 1995) cita quatro mecanismos que, individual ou conjuntamente, atuam no processo de rastejos:

- Inchamento e contração do solo devido às variações térmicas e de umidade;
- Ação constante da gravidade, intensificada nos períodos chuvosos com aumento de peso do solo e o consequente aumento das tensões cisalhantes;

- Formação de pressões positivas de percolação na água, em função do fluxo subterrâneo ou de pressão neutras hidroestáticas, durante chuvas intensas;
- Redução da coesão do solo como consequência do aumento da umidade.

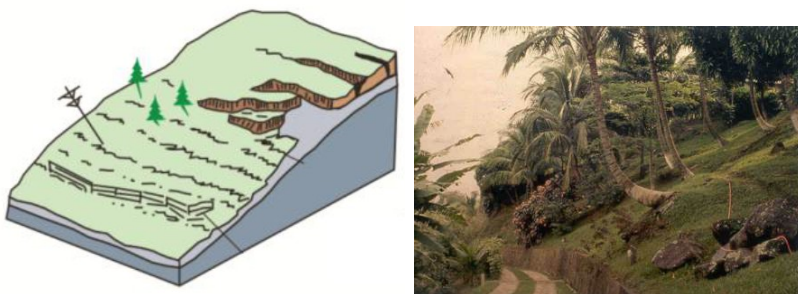
A principal causa antrópica dos rastejos é a execução de cortes em sua extremidade média inferior, o que interfere na sua estabilidade (IPT, 2007).

Queiroz (2009) afirma que os rastejos são mais comuns em locais com solos residuais, em clima tropical úmido, onde o intemperismo é intenso, acarretando num aumento lento da espessura da camada de solo e consequente fluência devido à ação da gravidade.

Segundo Massad (2010) as velocidades dos rastejos sofrem interferência da pluviometria, desacelerando em épocas de estiagem e acelerando em épocas chuvosas.

Dentre os indícios do processo de rastejo, Vedovello e Macedo (2007) citam a ocorrência de muros e árvores inclinadas, trincas em paredes, degraus de abatimento formados nas encostas, dentre outros.

**Figura 2-Rastejos**



(Fonte: HIGHLAND e BOBROWSKY, 2008).

#### *2.2.1.2. Escorregamentos*

Fernandes e Amaral (1996) afirmam que os escorregamentos são movimentos rápidos, de curta duração e com plano de ruptura bem definido. O material envolvido pode ser constituído por solos, depósitos de encosta (colúvio), rochas, detritos ou até lixo doméstico.

O principal agente deflagrador deste processo são as chuvas, e os índices pluviométricos críticos variam com a região, sendo maiores para os deslizamentos generalizados e menores para os induzidos.

Massad (2010) cita como causas para a ocorrência de escorregamentos a alteração da geometria do talude, colocação de sobrecargas no topo das encostas, saturação do solo através das chuvas, que elevam as pressões neutras, reduzindo a resistência do solo e a remoção da cobertura vegetal. Thives e Trichês (2009) acrescentam vibrações, liquefação e elevação e rebaixamento rápido do nível d'água na encosta como causas de escorregamentos.

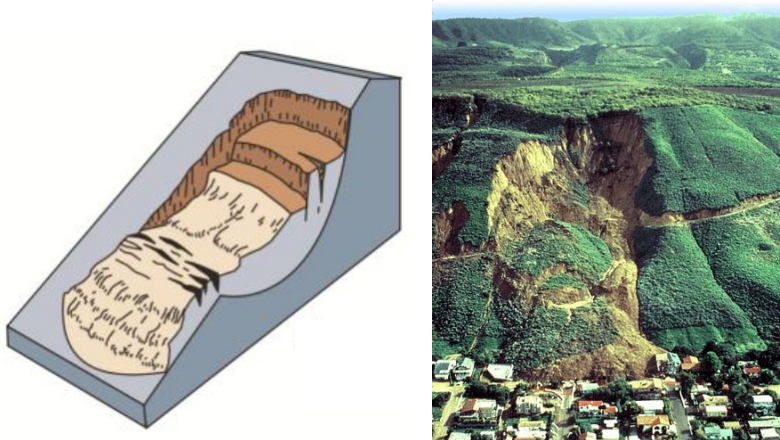
Quanto à geometria do plano de ruptura, os escorregamentos são divididos em três tipo: rotacionais ou circulares, translacionais ou planares, e em cunha. Estes serão descritos a seguir:

a) Escorregamentos Rotacionais ou Circulares:

Os escorregamentos rotacionais possuem uma superfície de ruptura curva, côncava para cima, ao longo da qual ocorre o movimento rotacional de uma massa de solo. Ocorrem principalmente em encostas de solos espessos e homogêneos e em regiões com intemperismo acentuado.

Outra característica importante a respeito deste tipo de escorregamento é o fato da massa rompida apresentar pequena deformação durante a ruptura, sendo comum o fato de arbustos e arvores permanecerem em pé ou com pequeno declive, com o solo apresentando poucas trincas após a ruptura (WOLLE, 1988).

**Figura 3-Escorregamento Rotacional**



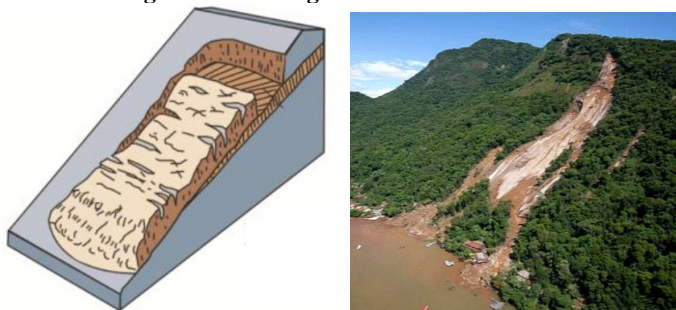
(Fonte: HIGHLAND e BOBROWSKY, 2008).

b) Escorregamentos Translacionais ou Planares:

Os escorregamentos translacionais são bastante comuns nas encostas brasileiras. Eles apresentam superfície de ruptura planar e o movimento é predominantemente de translação. Sua geometria caracteriza-se por uma pequena espessura e forma retangular estreita, com comprimentos bem superiores às larguras, ou seja, os movimentos costumam ser compridos e rasos. (IPT, 2007)

Estes movimentos costumam ser deflagrados durante eventos de chuva intensas, quando a taxa de infiltração torna-se superior à taxa de retirada de água do interior da massa da encosta. Com isso, tem-se um aumento da poro-pressão, provocando a ruptura. (DIAS, 2002).

**Figura 4-Escorregamento Translacional**

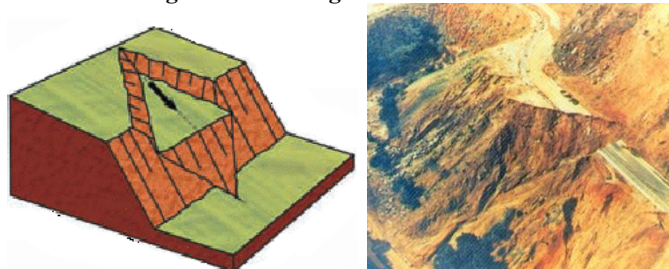


(Fonte: HIGHLAND e BOBROWSKY, 2008).

c) Escorregamentos em cunha

Os escorregamentos em cunha apresentam superfície de ruptura em cunha e são restritos a regiões que apresentam relevo controlado por estruturas geológicas. Ocorrem principalmente em taludes ou encostas que sofreram desconfinamento, seja de forma natural ou por ação antrópica.

**Figura 5-Escorregamento em cunha**



Fonte: Montgomery, 1992.

### 2.2.1.3. Quedas

Os movimentos do tipo queda são extremamente rápidos, decorrentes de instabilização de um volume de rocha relativamente pequeno. Consistem no desprendimento do material, que perde a aderência com uma base estável, e sofre queda livre. As quedas são constituídas basicamente por materiais rochosos de volume e geometria variáveis (blocos, lascas, etc.). A ocorrência deste processo está condicionada à presença de afloramentos rochosos em encostas íngremes.

Massad (2010) afirma que a queda de blocos acontece em virtude de eventos pluviométricos intensos e prolongados, provocando a erosão e solapamento do material junto à base. Este tipo de movimento também pode decorrer de ação antrópica, na execução de cortes e escavações de maneira inadequada.

Dias (2002) exemplifica:

*“As quedas de blocos representam movimentos em queda livre de blocos e lascas de rocha. São resultantes do avanço do intemperismo físico e químico através das descontinuidades das rochas, representadas por falhas, fraturas e bandamentos. Este processo é responsável pela decomposição esferoidal de rochas como o granito, dando origem a blocos e matacões envoltos por um manto de alteração. A posterior remoção por erosão do material proveniente da decomposição esferoidal tende a isolar estes blocos e matacões na superfície do terreno. Durante chuvas intensas e/ou prolongadas, os mesmos podem se soltar e rolar encosta abaixo sob efeito da gravidade.”*

### 2.2.1.4. Corridas

As corridas são movimentos bastante rápidos, geralmente associados a eventos pluviométricos excepcionais que ocasionam deslizamentos nas encostas e mobilizam grandes volumes de material (solos, pequenos blocos e restos vegetais). Seu escoamento se dá ao longo de um ou mais canais de drenagem, tendo o comportamento de um fluido viscoso e alto poder de transporte (IPT, 2007).

Massad (2010) complementa afirmando que a massa deslocada apresenta alto poder de erosão e destruição, podendo atingir grandes



distâncias com extrema rapidez. Em frente a isso, os danos gerados pelas corridas são imensos.

### **2.2.2. Causas e indicadores de instabilidade nas encostas**

Muitos fatores influenciam a ocorrência de movimentos de massa. O IPT (2007) divide em três condicionantes as causas de deslizamento: condicionantes naturais, antrópicos e ambos.

Os condicionantes naturais podem ser divididos em agentes predisponentes e efetivos. Os agentes predisponentes são aqueles intrínsecos ao meio físico natural, ou seja, as características geológicas, geomorfológicas, hidrológicas e climáticas, além da vegetação natural do maciço e a própria gravidade. Os agentes efetivos são os elementos diretamente responsáveis pela ocorrência dos deslizamentos, como a pluviosidade, erosão, variação de temperatura e umidade, dissolução química, terremotos, ondas, etc..

Dentre os condicionantes antrópicos, podemos citar a remoção da cobertura vegetal, lançamento e concentração de águas pluviais, vazamentos na rede de água e esgoto, presença de fossas, execução deficiente de aterros, retirada de solo superficial, expondo horizontes mais suscetíveis, dentre outras.

Para Massad (2010), o problema de instabilidade de encostas se dá pelas fortes e prolongadas chuvas acrescidas da ocupação desordenada das encostas e morros. O autor afirma ainda que as causas são naturais, uma vez que os solos localizados em encostas tem tendência natural de descer ao nível da base da mesma.

Para Thives e Trichês (2009), as ocorrências dos movimentos de massa podem ser organizadas em dois grupos: aumento da tensão de cisalhamento na encosta e diminuição da resistência ao cisalhamento do solo. O primeiro pode ocorrer através do sobrecarregamento da encosta, remoção do apoio lateral, mudança repentina do nível freático na encosta, terremotos e até acúmulo de lixo na encosta. O segundo pode ser causado pelo aumento da pressão neutra, a presença de argilas expansivas, intemperismo ou falha progressiva.

A verdade é que um deslizamento raramente pode ser associado a um único e definitivo condicionante, devendo ser observado como um conjunto de fatores e efeitos que deflagram o movimento de massa.

Quando alguns destes fatores acontecem, a encosta pode começar a apresentar indicadores de ocorrências de deslizamento. Segundo Thives e Trichês (2009), estes indicadores são:

- Topografia dissecada;

- Mudança abrupta na encosta;
- Surgimento de fissuras e escarpas;
- Topografia em degraus;
- Poças nas vertentes;
- Insurgência de água na vertente;
- Vegetação incongruente;
- Árvores e postes tortos;
- Incongruência em muros, cercas e linhas de transmissão;
- Abatimento de superfície.

A identificação precisa dos elementos responsáveis e dos processos correlatos é fundamental para que medidas corretivas e preventivas sejam tomadas.

## 2.3. SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

### 2.3.1. Os conceitos de SIG.

Apesar de ser uma tecnologia recente, o Sistema de Informações Geográficas é a ferramenta mais utilizada para a execução de um Mapeamento Geotécnico, sendo uma técnica bastante difundida. O SIG possibilita a armazenagem, recuperação, visualização, justaposição e manipulação de dados a fim de realizar análises e modelagens espaciais, georreferenciadas.

Devido a grande importância e aplicação na pesquisa, é necessário realizar a abordagem conceitual do que exatamente são os SIGs.

O termo SIG, abreviação de sistemas de informações geográficas, advém da tradução do inglês para o termo GIS (Geographic Information System).

Segundo Silva (1999 apud Mafra Junior 2007), a definição de SIG é um grande desafio, por diversas razões. Primeiramente, reside o fato de se tratar de uma tecnologia recente, aliado ao grande crescimento teórico e tecnológico das comunicações nos últimos 30 anos; depois, a orientação comercial da utilização do SIG gerou figuras de linguagem que engrandecem ou diminuem a realidade dos fatos. Outro fator é o grande crescimento de sistemas computacionais que suportam os SIG, gerando muitos neologismos. A grande diversidade de uso dos SIGs possibilitou que grupos muito heterogêneos formassem conceitos, o

que provocou o aparecimento de informações conflitantes. Assim sendo, a definição de SIG tem sido dificultada também pelo debate acadêmico.

Os SIGs estão inseridos na área de conhecimento denominado Geoprocessamento, que pode ser entendido como o conjunto de processos que utilizam técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de dados espaciais de objetos e fenômenos onde a posição geográfica tem importância. Esses dados, geralmente provenientes de fontes distintas, requerem uma plataforma de integração onde possam ser utilizados e analisados, a fim de que se obtenham novas informações. É nesse contexto que se insere o SIG, gerando, transformando e analisando dados georreferenciados (Câmara et al., 2001).

Segundo (Higashi, 2006), Geoprocessamento remete às técnicas temáticas e computacionais utilizadas nas análises de informações georreferenciadas, e que vem influenciando de forma crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Geotecnia, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional.

Para Valente (1999), geoprocessamento é o conjunto de tecnologias capazes de realizar a coleta, o processamento e a manipulação de informações espaciais. Os dados podem ser obtidos por meio de técnicas de sensoriamento remoto orbital ou sub-orbital, cadastramentos urbanos ou rurais, mapas temáticos ou levantamentos topográficos. As informações georreferenciadas podem ser armazenadas, processadas e manipuladas no computador por meio de sistemas CAD (Computer Aided Design), sistemas de processamento de imagens digitais e Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Câmara et al. (1996) definem sensoriamento remoto como “o conjunto de processos e técnicas usados para medir propriedades eletromagnéticas de uma superfície, ou de um objeto, sem que haja contato entre o objeto e o equipamento sensor.”

Carvalho et al. (2000) indicam que geoprocessamento engloba diversas tecnologias de tratamento e manipulação de dados geográficos em programas computacionais. Dentre essas tecnologias destacam-se o sensoriamento remoto, a digitalização de dados, a automação e tarefas cartográficas, a utilização de sistema GPS (Sistema de Posicionamento Global) e os sistemas de informações geográficas (SIG).

Câmara (1993), diz que os SIGs são sistemas de informações construídos para armazenar, analisar e manipular dados georreferenciados. Os dados geográficos são oriundos de diversas fontes e armazenados nos bancos de dados geográficos.

Para Silva (1999), o SIG é uma tecnologia que possui o ferramental necessário para a realização de análises de dados espaciais, oferecendo alternativas para entendimento da ocupação e utilização do meio físico.

Miranda (2008) define SIG como um conjunto de sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e que permitem o acesso a informações alfanuméricas e de localização espacial. Estes sistemas oferecem ao usuário uma visão global dos dados referentes ao meio analisado, estudando suas inter-relações e a base comum a todos: a posição geográfica.

Entretanto, Reolon (2008) indica que a geração de mapas não é o eixo central dos SIG's, embora quase todos tenham algum tipo de suporte para esta operação. Deve-se estar ciente, portanto, que alguns programas do gênero são inadequados quando se deseja, por exemplo, gerar mapas de alta definição.

No Quadro 6 estão apresentadas algumas diferenças entre a cartografia tradicional e a cartografia usando SIG.

**Quadro 6-Comparação entre cartografia tradicional e cartografia usando SIG.**

<b>Cartografia Tradicional</b>	<b>Cartografia usando SIG</b>
Cartas limitadas a aspectos gráficos	Cartas com recursos multimeios
Imagem estática	Imagem dinâmica
Documento único	Múltiplos documentos interligados
Carta destinada a um público grande	Carta destinada a necessidades individuais
Carta destinada a comunicar um conhecimento	Carta utilizada para descobrir novas informações, usando mecanismos de visualização e exploração
Carta usada para leitura	Carta usada para comunicação interativa
Carta produzida por cartógrafo	Carta produzida por usuário, não necessariamente cartógrafo

**Fonte: Câmara (1993)**

Um dos aspectos mais importantes do uso de SIG é a capacidade de combinar dados e gerar novas informações. O desafio, entretanto, consiste na adequação das plataformas utilizadas pela análise geográfica tradicional, inadequados para o uso no ambiente computacional.

Para Câmara (1993), as principais funções de um SIG são:

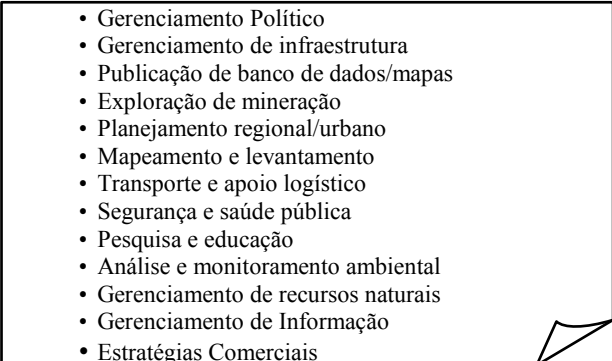
- integrar informações espaciais de dados cartográficos, censitários, e de cadastramento, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno, numa única base de dados;
- cruzar informações por meio de algoritmo de manipulação para gerar mapeamentos derivados;
- consultar, recuperar, visualizar e permitir saídas gráficas para o conteúdo da base de dados geocodificados.

As definições de SIGs refletem, cada uma à sua maneira, a grande variedade de usos e visões possíveis desta tecnologia. Duas características podem ser apontadas como principais em um Sistema de Informações Geográficas. Primeiro, estes sistemas possibilitam a integração de dados georreferenciados provenientes de fontes diversas em uma única base de dados, como dados cartográficos, censitários, imagens de satélite e modelos numéricos de terreno. Segundo, permitem visualizar, recuperar e manipular estes dados. (CÂMARA, 1993).

Bastos (2005), aponta que os SIGs são, na verdade, bancos de dados interligados, com um sistema de gerenciamento de banco de dados para manipular os dados não-geográficos, geográficos (locacionais), espaciais (gráficos) e suas correlações.

Por ser de caráter multidisciplinar, profissionais das mais variadas áreas de formação estão utilizando SIG para diversas áreas de atuação, sejam simples ou complexas, tais como empresas de telecomunicações, eletricidade, água, esgoto, concessionárias de estradas, etc. (MIRANDA 2010). Na figura Figura 6 estão apresentadas algumas das aplicações da tecnologia SIG.

**Figura 6-Aplicações da tecnologia SIG.**

- 
- Gerenciamento Político
  - Gerenciamento de infraestrutura
  - Publicação de banco de dados/mapas
  - Exploração de mineração
  - Planejamento regional/urbano
  - Mapeamento e levantamento
  - Transporte e apoio logístico
  - Segurança e saúde pública
  - Pesquisa e educação
  - Análise e monitoramento ambiental
  - Gerenciamento de recursos naturais
  - Gerenciamento de Informação
  - Estratégias Comerciais

**Fonte: Adaptado de Paredes, (1994).**

Bastos (1996) afirma que dentre a vasta gama de possibilidades de uso da tecnologia SIG, pode-se citar cinco áreas principais, ordenadas em sequência:

**a) Ocupação Humana**

- Planejamento e gerenciamento urbano: redes de infraestrutura, como água, luz, esgoto, telecomunicações e cadastramento territorial;
- Saúde e educação: rede hospitalar e de ensino, saneamento básico e controle epidemiológico;
- Transporte: supervisão das malhas viárias, controle de tráfego, sistemas de informações turísticas;
- Segurança: controle do espaço aéreo, marítimo e terrestre, controle de tráfego, cartografia náutica.

**b) Uso da terra**

- Planejamento agropecuário, classificação de solos e vegetação, gerenciamento de bacias hidrográficas, planejamento de barragens, levantamento topográfico e planimétrico, mapeamento do uso do terreno.

**c) Uso dos recursos naturais**

- Controle do uso do extrativismo vegetal, mineral, gerenciamento dos recursos hídricos, gerenciamento costeiro.

**d) Meio ambiente**

- Controle de queimadas, gerenciamento florestal de desmatamento e reflorestamento.

**e) Atividades econômicas**

- Planejamento de pesquisas sócio econômicas, distribuição de produtos e serviços, transporte de matéria prima e insumos.

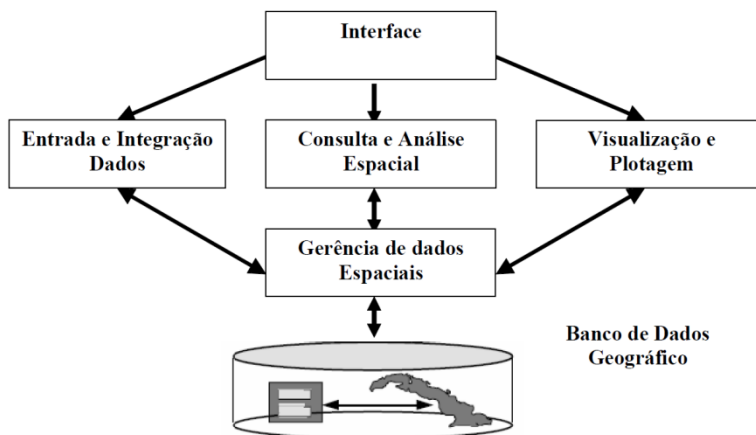
### **2.3.2. Conceitos estruturais de um SIG**

Câmara (2001) identifica a estrutura interna de um SIG da seguinte forma:

- Interface com usuário;
- Entrada e integração de dados;
- Funções de processamento gráfico e de imagens;
- Visualização e plotagem;
- Banco de dados geográficos.

A arquitetura desta estrutura é representada na Figura 7.

**Figura 7-Arquitetura de um SIG**



**Fonte: INPE (2006).**

Para uma melhor compreensão estrutural de um SIG, são necessários alguns conceitos básicos para o entendimento de sua utilização no mapeamento geotécnico. Dentre eles, destacam-se:

#### a) Mapas Temáticos

Os mapas temáticos são cartas geográficas particionadas em polígonos de acordo com cada tema específico, como uso do solo, unidades geológicas, aptidão agrícola. Estes mapas geralmente constituem o resultado das análises, e os valores de seus dados são inseridos normalmente via digitação ou de forma automatizada. (HIGASHI 2002).

Os mapas temáticos podem ser representados tanto de forma matricial quanto vetorial.

#### b) Topologia

No SIG, muitas operações não necessitam de coordenadas, apenas informações topológicas.

Burrough (2002 apud Higashi 2002) identifica topologia como a forma com o qual diferentes elementos gráficos se relacionam entre si, e afirma que as informações geográficas podem ser reduzidas a três conceitos básicos: ponto, linha e área.

Para Mafra Jr. (2007), topologia é a relação espacial entre feições (arcos, nós, polígonos e pontos) unidas ou adjacentes, e relações topológicas são as construções, a partir de elementos simples, de elementos mais complexos, como a construção de estradas (conjunto de partes que são arcos ou partes de arcos) a partir de pontos, arcos e áreas.

Câmara (2001) afirma que o armazenamento da topologia permite o desenvolvimento de consultas a um banco de dados espacial, o que não é possível de outra maneira.

Para definir a topologia de um mapa, o SIG utiliza uma estrutura de dados empregando nós (nodes), arcos (lines) e áreas (polygons). Além de dados espaciais, o SIG possui dados atributos, os quais, associados aos elementos topológicos, resultam em informações descritivas. O SIG permite acesso tanto aos dados espaciais quanto aos dados atributos ao mesmo tempo, possibilitando uma inter-relação entre ambos.

#### c) Atributos

Em um SIG, os atributos são informações não gráficas associadas a elementos representados por pontos, linhas ou áreas. (BURROUGH 1994 apud HIGASHI 2002).

Bastos (2005) define atributo como a “característica da entidade, normalmente, não-espacial, a que se podem associar valores qualitativos e quantitativos”.

Neste trabalho, utilizam-se os atributos das unidades geotécnicas (representadas por polígonos), para descrever o comportamento do solo em tabelas de resultados de ensaios geotécnicos.

#### *2.3.2.1. Base de Dados*

Paredes (1994) afirma que o SIG integra dois tipos de dados diferentes: gráficos e não gráficos. Os dados gráficos são aqueles correspondentes à cartografia, podendo ser de modelo vetorial ou raster (matricial). Os dados não gráficos são os que caracterizam de forma quantitativa e qualitativa os atributos da base cartográfica digital.

A seguir, são apresentadas as características e definições dos modelos vetorial e raster.

#### *2.3.2.2. Dados Raster (Matriciais)*

Lacruz e Souza Filho (2009) definem dados raster como um conjunto de células que formam uma espécie de matriz de duas dimensões com coordenadas contíguas, cujo atributo geográfico é



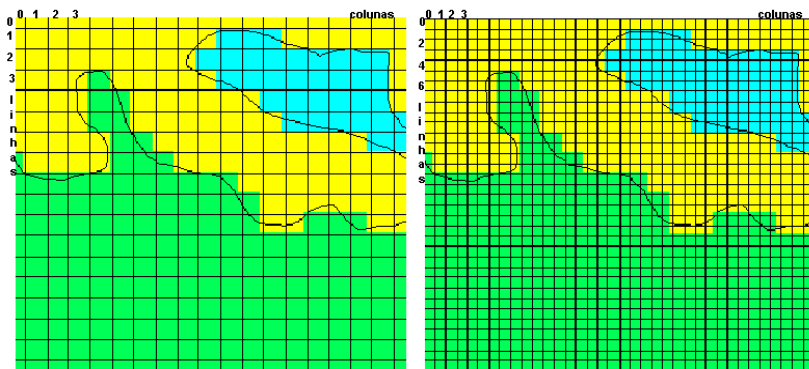
definido pela localização na matriz. Cada célula contém um número representando o valor ou tipo do atributo. Estas células podem ser triangulares, hexagonais e retangulares.

Para Câmara et al. (2001), a representação matricial permite tratar o espaço como uma superfície plana, onde associa-se cada parte do terreno a posição de cada célula. A resolução do sistema é proporcional ao tamanho das células em relação à área do terreno.

Segundo Mafra Junior (2007), os dados matriciais são a representação gráfica do mundo real através de células, geralmente quadradas, definidos pelas suas localizações relativas às linhas e colunas de uma malha.

Na figura a seguir, vemos um terreno representado por células de tamanhos diferentes.

**Figura 8-Diferentes Representações matriciais para um mapa.**



**Fonte: Câmara et al., 2001.**

O mapa da direita, representado por células quatro vezes menores que as do primeiro mapa, têm uma resolução quatro vezes maior, permitindo avaliações de áreas e distancias bem mais precisas. O espaço necessário para armazenamento deste mapa, entretanto, é quatro vezes maior que o da esquerda.

Alguns exemplos típicos de dados raster são as matrizes de elevação, classes de uso do solo, dados geológicos, geofísicos e geoquímicos.

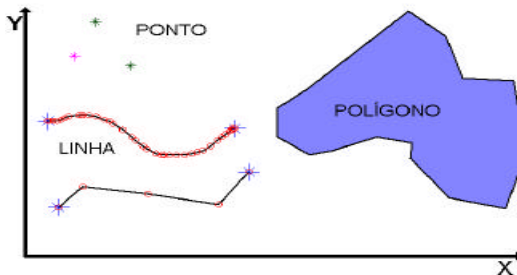
### 2.3.2.3. Dados Vetoriais

Os dados vetoriais são aqueles cujos limites são formados por pontos, inseridos em um plano cartesiano. Estes pontos formam linhas ou polígonos que representam a extensão gráfica do objeto. Na abordagem vetorial todos os tipos de objetos espaciais podem ser representados. (LACRUZ E SOUZA FILHO, 2009).

Para Paredes (1994), as coordenadas dos pontos são matematicamente exatas, e a representação vetorial de um elemento é a tentativa de reproduzi-lo o mais fielmente possível.

A representação vetorial considera três elementos gráficos: os pontos, linhas e polígonos (áreas). Os primeiros são armazenados conforme um único par de coordenadas X e Y. As linhas são compostas por retas, podendo ser representadas por dois pares de coordenadas X e Y. Já os polígonos são um conjunto de retas fechadas cujas coordenadas inicial e final são iguais.

**Figura 9-Elementos de representação vetorial.**



**Fonte: Câmara et al., 2001**

Apesar dessa concepção de representação através de coordenadas X e Y dos dados vetoriais, faz-se necessárias algumas adaptações quando da representação de objetos que ocorrem na natureza.

Segundo Câmara et al. (2001), objetos de área podem ser analisados de três formas diferentes: isolados, aninhados ou adjacentes. Os objetos isolados são aqueles em que objetos de mesma classe não se tocam, como edificações e piscinas. Os objetos aninhados são aqueles compostos por linhas que não se tocam, e são vistos como “empilhados” um em cima do outro, como as curvas de nível. Os objetos adjacentes são aqueles cujas fronteiras são compartilhadas, como as modalidades de divisão territorial (bairros, cidades, etc.), além de mapas geológicos e pedológicos.

Ainda segundo o autor, além dos objetos de área, os objetos de linha também podem ter formas de utilização variadas: linhas isoladas, em árvore e em rede. As linhas isoladas podem ser representadas como os muros e cercas de mapas urbanos. As linhas em árvore podem ser encontradas nas representações de rios e seus afluentes, além de redes de esgoto e drenagem pluvial. Os objetos de linha em rede ocorrem, por exemplo, na representação de redes elétricas, telefônicas, de água, nas malhas rodoviárias e ferroviárias.

#### *2.3.2.4. Comparação entre as representações matricial e vetorial*

Os mapas temáticos podem ser representados tanto de forma matricial quanto vetorial, por isso é relevante comparar estes dois métodos de representação. O Quadro 7 faz um comparativo entre essas representações, destacando-se o formato mais vantajoso para cada caso.

**Quadro 7-Comparação entre representações vetoriais e matriciais.**

	<b>Modelo Vetorial</b>	<b>Modelo Matricial</b>
<b>Estrutura</b>	Mais complexa	Mais simples
<b>Topologia</b>	Melhor definição	Fraca
<b>Saídas Gráficas</b>	Com qualidade	Fraca qualidade
<b>Manipulação de Dados</b>	Fácil	Impossível
<b>Sobreposição de Coberturas</b>	Com erros	Fácil
<b>Visualização</b>	Rápida	Lenta
<b>Relações espaciais entre objetos</b>	Relacionamentos topológicos entre objetos disponíveis	Relacionamentos espaciais devem ser inferidos
<b>Ligação com banco de dados</b>	Facilita associar atributos a elementos gráficos	Associa atributos apenas a classes dos mapas
<b>Análise, Simulação e Modelagem</b>	Representação indireta de fenômenos contínuos;	Representa melhor fenômenos com variação contínua no espaço;
	Álgebra de mapas é limitada.	Simulação e modelagem mais fáceis.
<b>Escalas de trabalho</b>	Adequado para grandes e pequenas escalas	Adequado para pequenas escalas (1:25000 e menores)
<b>Algoritmos</b>	Problemas com erros geométricos	Processamento mais rápido e eficiente
<b>Armazenamento</b>	Por coordenadas (mais eficiente)	Por matrizes.

**Fonte: adaptado de Pinto, 2009 e Câmara, 2001.**

### **2.3.3. Banco de Dados**

Os banco de dados são uma compilação de dados digitais integrados ou partilhados que podem ser acessados por diferentes programas ou que podem ser combinados entre si, a fim de gerar novas informações que possam ser analisadas pelo usuário.

Para Paredes (1994) um banco de dados espacial é um conjunto de dados georreferenciados que atuam como um modelo da realidade.

Um banco de dados geotécnico é a união de um banco de dados com fotografias de perfis típicos de solos, resultados de ensaios geotécnicos de campo e laboratório, vinculados ao mapa geotécnico de determinada área de estudo.

Mafra Junior (2007) afirma que os sistemas de bancos de dados foram concebidos com a finalidade de gerenciar as grandes quantidades de informações resultantes do grande volume de dados envolvidos em operações de informações geográficas.

Os bancos de dados (BD) tem como objetivo fundamental dar ao usuário uma visão abstrata dos dados, omitindo detalhes de como são armazenados e mantidos, pois a complexidade com que são executados pode não ser de interesse do usuário (SILVA, 1999).

Para o gerenciamento dos dados no banco de dados pode-se utilizar sistemas computadorizados de arquivamento de registros eletrônicos, os SGBD (Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados) que criam ambientes adequados e eficientes para uso na recuperação e armazenamento de informações (MAFRA JÚNIOR, 2007).

### **2.3.4. SIG no Mapeamento Geotécnico**

Com a crescente evolução do SIG quanto à capacidade de manipulação e interação de dados georreferenciados tornando-se cada vez mais intensa, e a eficiente manipulação de ferramentas cartográficas, o seu uso vem se abrangendo.

O uso do SIG na área de mapeamento geotécnico também vem crescendo. A facilidade de operações e análises de dados dos meios físicos possibilitadas pelo uso de SIG resultou em um aumento das áreas de estudo. Em Santa Catarina, podemos citar, dentre outras:

- Higashi et al. (2001) apresentam uma análise do subsolo do estado de Santa Catarina visando a aptidão dos solos para pavimentação de rodovias com a utilização de mapeamento geotécnico e um banco de dados geotécnicos em ambiente SIG.

- França Junior (2002) elaborou procedimentos e buscas de informações geotécnicas caracterizando cada unidade de solo da área urbana da cidade de Joinville, integrando as características do meio físico, declividades, propriedades físicas do solo e zoneamento, entre outros, possibilitando a formação de mapa geotécnico.
- Higashi (2006) utiliza um SIG como gerenciador de dados espaciais para indicar as melhores áreas de crescimento conforme as características geotécnicas obtidas através da análise das unidades de mapeamento geotécnico no município de Tubarão.
- Mafra Junior (2007) desenvolveu um mapa preliminar de unidades geotécnicas do município de Brusque associado a um banco de dados geotécnicos em ambiente SIG.

### **2.3.5. O Software *ArcView***

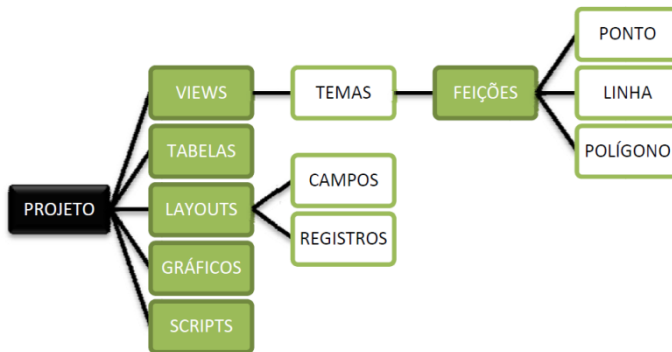
O software de SIG utilizado para a integração e disposição das informações geográficas, gráficas e dados alfanuméricos desta pesquisa foi o *ArcView 9.3* da *ESRI (Earth System Research Institute)*.

A utilização deste software permite uma combinação organizada e controlada de dados de diferentes origens com feições gráficas importadas de outros softwares ou criadas neste ambiente. Ele permite ao usuário edição, alteração da visualização e disposição dos dados, além da possibilidade de associar diferentes temas, a fim de originar novos temas de acordo com a finalidade da análise.

Nesta pesquisa utiliza-se um banco de dados geotécnicos com diversos tipos de informações como fotos, tabelas, imagens, gráficos, textos, vídeos, etc., associados a um mapa geotécnico através do *ArcView*. Essas informações ficam armazenadas em diretórios separados do software, sendo acessadas sempre que selecionadas pelo programa.

A estruturação do programa pode ser detalhada através do fluxograma apresentado na Figura 10.

**Figura 10-Estruturação de organização das informações no Arcview.**



**Fonte: Duarte (1999).**

## 2.4. ÁREAS DE RISCO

Com o crescimento populacional e aumento das manchas urbanas nas cidades brasileiras, somados a fatores econômicos, políticos, sociais e culturais, verificou-se um acréscimo considerável do número de pessoas vivendo em áreas de risco de deslizamentos, enchentes e inundações no país.

No gerenciamento dessas áreas de risco, existem dois fundamentos principais: a *previsão*, que identifica onde e quando poderão ocorrer acidentes, e a *prevenção*, que fornece a possibilidade de adotar medidas que impedem a ocorrência dos processos danosos ou a redução das magnitudes, minimizando os impactos (IPT, 2007).

Apesar do grande avanço técnico-científico e do aumento da cobertura e interesse da população em geral em relação as áreas de conhecimentos sobre riscos naturais, a terminologia utilizada pelos profissionais que atuam no mapeamento de áreas de risco ainda encontram variações e divergências em suas definições. É importante, portanto, conceituar as terminologias utilizadas nessa área.

### 2.4.1. Conceitos

Neste trabalho, priorizaremos os conceitos fornecidos pelo CEPED/UFSC (2011) e pelo IPT (2007).

- *Ameaça*: fenômeno, substância, atividade humana ou condição perigosa que pode causar transtornos ou danos humanos, materiais ou ambientais. As ameaças podem ter varias origens que podem atuar de

forma isolada ou combinada: geológicas, meteorológicas, hidrológicas, oceânicas, biológicas e tecnológicas.

- *Evento*: fenômeno com características, dimensões e localização geográfica registrada no tempo, sem causar danos econômicos e/ou sociais.

- *Perigo (Hazard)*: Condição ou fenômeno com potencial para causar uma consequência desagradável.

- *Vulnerabilidade*: abrange as características e circunstâncias de uma comunidade, sistema ou meio que os tornam suscetíveis aos efeitos danosos de uma ameaça. Vários fatores influenciam diretamente na vulnerabilidade, tais como: socioeconômicos, culturais, religiosos, ambientais, físicos, institucionais, falta de informação e conscientização pública, o reconhecimento oficial limitado de risco e medidas de preparação e negligência da gestão ambiental

- *Suscetibilidade*: Indica potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos e uma dada área, expressando-se segundo classes de probabilidade de ocorrência.

- *Risco*: combinação da ameaça com a vulnerabilidade que resulta na probabilidade de ocorrência de um evento e suas consequências. As definições de risco ficam mais precisas de acordo com a necessidade do uso - avaliação de riscos, gestão de riscos, risco aceitável, entre outros.

- *Área de Risco*: Área passível de ser atingida por fenômenos ou processos naturais e/ou induzidos que causem efeito adverso. As pessoas que habitam essas áreas estão sujeitas a danos a integridade física, perdas materiais e patrimoniais. Normalmente, no contexto das cidades brasileiras, essas áreas correspondem a núcleos habitacionais de baixa renda (assentamentos precários).

- *Desastre*: resultado da concretização de uma ameaça, um evento adverso, natural ou provocado pelo homem, sobre um ecossistema vulnerável, causando danos humanos, materiais e ambientais, e consequentes prejuízos econômicos e sociais.

Uma discussão mais atual propõe como definição: produtos e processos decorrentes da transformação e crescimento da sociedade, do modelo global de desenvolvimento adotado, dos fatores socioambientais relacionados a modos de vida que produzem vulnerabilidades sociais e, portanto, vulnerabilidade aos desastres. Incluem aspectos como pobreza, ocupação inadequada do solo, ocupação de áreas de risco, inexistência de equipamentos urbanos e insuficiência de políticas que atendam as necessidades da população.

- *Medidas estruturais*: qualquer estrutura física construída para reduzir ou evitar os possíveis impactos de riscos, ou a aplicação de

técnicas de engenharia para ampliar a resistência e resiliência de estruturas ou sistemas contra ameaças.

- *Medidas não-estruturais*: Qualquer medida relacionada ao uso do conhecimento, práticas ou acordos já existentes para reduzir os riscos e impactos, particularmente por meio de políticas e leis, sensibilização comunitária, formação e educação.

- *Dano*: intensidade das perdas humanas, materiais ou ambientais ocorridas às pessoas, comunidades, instituições, instalações e aos ecossistemas, como consequência de um desastre ou acidente.

- *Prejuízo*: medida financeira da perda. Quantifica o valor econômico, social e patrimonial de um determinado bem, em circunstâncias de desastre ou acidente.

- *Prevenção*: engloba o conjunto de ações que visam evitar que o desastre aconteça ou diminuir a intensidade de suas consequências.

#### **2.4.2. Avaliação e Mapeamento de Áreas de Risco**

Em 22 de novembro de 2008, 63 municípios catarinenses decretaram Situação de Emergência, e 14 decretaram Estado de Calamidade Pública em razão dos estragos provocados pela chuva em parte do Estado. Segundo dados da Defesa Civil, o número oficial de óbitos é de 135 pessoas, sendo 97% destas causadas por soterramento.

Diante de dados como esses, verifica-se a necessidade de mudança na cultura do país em lidar com tragédias. Apesar do esforço nacional para minimizar os estragos decorrentes de casos como esses, fica evidente que a prevenção é essencial para reduzir ainda mais os riscos.

O Mapeamento de Áreas de Risco é importante para delimitar as áreas suscetíveis a ameaças à comunidade. Ele serve como uma das medidas preventivas para se conhecer os locais onde existe risco e que, portanto, devem receber maior atenção nas ações de redução de risco e desastres.

Para identificar o risco, é necessário primeiro fazer um levantamento de dados históricos de recorrência de desastres. Além disso, é necessário reconhecer as ameaças e vulnerabilidades, pois com o decorrer do tempo as áreas afetadas por desastres sofrem alterações que podem ampliar ou diminuir o risco de desastre.

Em um mapa de risco, devem ainda constar informações como a geografia do terreno, a vegetação, se a área foi modificada de seu estado natural, se há plantações que oferecem risco, como bananeais, ou se está em margem de rios.



Outro fator importante é considerar as capacidades da comunidade que esta na área de risco. Por muito tempo se acostumou a considerar apenas a vulnerabilidade e a ameaça, sem levar em conta a importância da comunidade nesse processo. Os moradores conhecem o lugar onde moram e podem aprender a perceber os riscos, além disso, possuem suas próprias capacidades de mobilização comunitária tanto para a prevenção quanto para a resposta ao desastre. E isso deve ser medido para um mapeamento eficiente.

Por isso é importante trabalhar a percepção de risco da comunidade. Ela deve reconhecer o risco no lugar onde vive.

### **2.4.3. Mapeamento de áreas suscetíveis ao deslizamento**

A identificação e mapeamento de áreas suscetíveis a escorregamentos de terra são procedimentos importantes no gerenciamento de bacias hidrográficas, uma vez que estes são um dos principais processos erosivos em encostas, tendo um papel importante na produção de sedimentos de uma bacia. A identificação destas áreas pode contribuir com a elaboração de mapas de risco, estimativas de produção de sedimentos e planejamento de medidas estruturais para proteção de infraestrutura (Michel et al., 2012).

Os escorregamentos de terra que ocorrem no Brasil, segundo a classificação de desastres naturais estabelecida pelo CRED – Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, são classificados como desastres hidrológicos, pois seus mecanismos desencadeadores estão diretamente ligados à eventos pluviométricos e consequente saturação do solo.

Além disso, devido à capacidade destes fenômenos de mobilizar grandes quantidades de sedimentos, eles também podem ser considerados hidrossedimentológicos. A identificação de áreas susceptíveis a escorregamentos pode ser realizada através da modelagem matemática. Vários estudos e modelos matemáticos foram criados na tentativa de determinar os parâmetros envolvidos em escorregamentos (Ramos et al., 2002).

Fernandes et al. (2001) divide essas análises de previsão de áreas suscetíveis a deslizamentos em quatro tipos diferentes:

- a) Análises a partir da distribuição dos deslizamentos em campo (por ex.: Wieczorek, 1984; Amaral, 1996)

Estes estudos se baseiam na idéia de que cicatrizes e deslizamentos recentes podem sugerir futuros padrões de comportamento das instabilidades.

- b) Análises a partir de mapeamentos geomorfológicos e/ou geotécnicos (por ex.: Brunsden et al., 1975; Hearn, 1992; Lara et al., 1997)

Estudos caracterizados pela combinação de vários mapas em que, de uma forma geral, são dadas notas e pesos aos fatores condicionantes da instabilização. Isso implica em uma grande subjetividade, uma vez que as notas podem variar para cada profissional.

- c) Modelos com bases estatísticas (por ex.: Brabb et al., 1972; Neuland, 1976; Van Westen, 1993; Carrara et al., 1995; Chung e Fabbri, 1995; Leroi, 1997; Guzzetti et al., 1999; Santos, 2000).

Essas análises assumem que os fatores causadores de instabilidades em certo local no passado serão os mesmos que gerarão futuros deslizamentos. Aqui, os parâmetros utilizados são baseados em fatos, eliminando a subjetividade presente pelas análises supracitadas.

- d) Modelos determinísticos (por ex.: Beven e Kirkby, 1979; O'Loughlin, 1986; Montgomery, 1994; Dietrich et al., 1995; Wu e Sidle, 1995; Dietrich e Montgomery, 1998; Guimarães et al., 1999).

Os modelos determinísticos possuem bases físicas que descrevem alguns dos processos e leis físicas que controlam a estabilidade de encostas. Alguns desses procedimentos acoplam modelos distintos, como os de fluxo subsuperficiais e de estabilidade infinita. Neste trabalho será feita análise da suscetibilidade a escorregamentos através do um modelo determinístico, denominado Modelo SHALSTAB, e que será explanado no item 2.6.

## 2.5. MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

Os legisladores devem ter conhecimento das características, do potencial e/ou dos problemas do solo quando planejam o uso e ocupação do solo em uma cidade. A gestão dos terrenos deve contemplar, além das características físicas do solo, os impactos das ações antrópicas nas modificações do ambiente, para então poder se determinar as áreas de ocupações aceitáveis, indicando medidas e recomendações a serem adotadas para minimizar as alterações e os impactos ambientais.

Uma das medidas utilizadas na identificação das áreas de risco é a confecção de mapas geotécnicos, ferramenta multidisciplinar bastante utilizada no gerenciamento de grandes áreas.

A cartografia geotécnica visa integrar dados físicos do terreno, bem como todo o comportamento de rochas e solos, aspectos

ambientais, como desmatamentos e consequentes erosões, além de aspectos políticos referentes as divisas entre os municípios, leis municipais, entre outros.

As definições de mapeamento geotécnico são geralmente influenciadas pela metodologia ou proposta de trabalho do autor ou órgão de pesquisa, possuindo várias conotações diferentes. Conceituaremos aqui, aquelas que mais se aproximam à proposta deste trabalho.

Zuquette (1987) afirma que o mapeamento geotécnico, além de ser utilizado como fonte de informação para o planejamento regional e urbano, é uma ferramenta que orienta e subsidia as mais diversas atividades antrópicas capazes de modificar o meio físico.

Para Higashi (2006) o mapeamento geotécnico é uma metodologia que representa, sob a forma de mapa, as características geomecânicas do solo, podendo ser utilizadas na previsão do comportamento de polígonos do solo, denominados unidades geotécnicas, em projetos ambientais e de engenharia.

O mapa geotécnico é um instrumento de gestão territorial, pois pode estabelecer uma forma de zoneamento de solo definidos segundo critérios do próprio meio físico, através das unidades geotécnicas, que necessitam de tratamento específico para seu respectivo uso, evitando uma ocupação inadequada e gerando um desenvolvimento sustentável (SANTOS, 1997).

A UNESCO (1976) define o mapeamento geotécnico como um mapa geológico que representa todos os componentes de significância para o planejamento do uso do solo e para projetos, construções e manutenção quando aplicados à Engenharia Civil e a Engenharia de Minas.

De forma geral, os autores concordam que o produto do mapeamento geotécnico deve ter aplicação á ocupação do meio físico, podendo apontar potenciais e problemas inerentes a ocupação de cada unidade geotécnica, de forma a não agredir o meio ambiente (MAFRA JR, 2007).

Zuquette (1990 apud Rodrigues, 2008) relacionou os elementos que devem ser considerados na elaboração de mapas geotécnicos, conforme o Quadro 8.

**Quadro 8-Elementos a considerar na elaboração de mapas geotécnicos.**

Características das rochas e dos materiais consolidados	Englobam a distribuição dos materiais rochosos e de cobertura, gênese, estrutura, homogeneidade e propriedades físicas e mecânicas.
Condições geodinâmicas internas	Incluem características associadas aos fenômenos sísmicos e vulcânicos.
Condições geodinâmicas externas	Relacionam-se aos processos erosivos e de sedimentação, dinâmica das encostas, os escorregamentos e os desmoronamentos.
Condições hidrogeológicas	Nível piezométrico, direção dos fluxos, pH, teor de sais, corrosividade e resíduos de materiais poluidores.
Condições geomorfológicas (relevo, declividade, curvatura, etc.)	Muito importantes para o planejamento urbano, contribuindo na distribuição dos equipamentos urbanos e na avaliação das áreas para fins de construção civil.
Modificações artificiais do meio físico e materiais de construção	Identificam as ocorrências de materiais utilizados na construção civil e áreas de materiais de empréstimo e respectivas propriedades, e um levantamento dos impactos ambientais por ações antrópicas.

**Fonte: Zuquette (1990 apud Rodrigues, 2008).**

O autor apontou ainda os fatores que influenciam a qualidade dos mapas geotécnicos:

**Quadro 9-Fatores que influenciam a qualidade de mapas geotécnicos.**

<b>Grau de complexidade das condições geotécnicas</b>	Referente a diversidade de características da área, como tipos de materiais encontrados, estruturas geológicas, geomorfologia, etc.
<b>Escala do mapa</b>	A escala adotada que limita a investigação para a região
<b>Numero de pontos documentados</b>	Depende da escala, da finalidade do projeto e da precisão requerida
<b>Tipo de carta geotécnica</b>	Deve ser realizada de acordo com a finalidade do projeto
<b>Tamanho e forma da área</b>	Está relacionada ao custo, tempo, quantidade de profissionais envolvidos e numero de ensaios.

**Fonte: Zuquette (1990 apud Rodrigues, 2008).**

### 2.5.1. Histórico

A utilização de mapas geológicos para fins de mapeamento geotécnico não é tão recente, sendo encontrados desde o início do século XX. Caballero (1973) afirma que as primeiras referências da utilização das técnicas de mapeamento geotécnico no planejamento e ocupação do solo datam de 1902, com a caracterização geotécnica da cidade de Nova Iorque (EUA), a partir de 1400 furos de sondagens.

Zuquette (1998, apud Higashi, 2002) aponta para 1913 como o ano de primeiro registro de mapeamento geotécnico, com a publicação de documentos gráficos por Langen, na Alemanha. Caballero (1973) acrescenta ainda os estudos de caracterização geotécnica de Praga, na antiga Tchecoslováquia (atual Republica Checa) feitos em 1920, além da elaboração de outros mapas na Alemanha na década de 30.

No Brasil, Higashi (2002) aponta para 1907 o primeiro trabalho de engenharia feito com auxílio de um mapa geológico, na construção da Estrada de Ferro Nordeste do Brasil.

Foi na Europa, entretanto, que a cartografia geotécnica ganhou força, principalmente após a Segunda Guerra Mundial, quando vários países retomaram os estudos geotécnicos para reconstruir seus territórios, com destaque para a Alemanha, União Soviética, Tchecoslováquia, Polônia e Hungria. (BASTOS, 2005).

Desde então, muitos estudos voltados ao mapeamento geotécnico foram desenvolvidos, com metodologias e, muitas vezes, finalidades diferentes. O Quadro 10 aponta algumas das metodologias internacionais.

**Quadro 10-Metodologias Internacionais de Mapeamento Geotécnico.**

<b>METODOLOGIA</b>	<b>FINALIDADE</b>	<b>UTILIZAÇÃO</b>
<b>IAEG</b>	Específica Multifinalidade	Planejamento urbano e regional
<b>Francesa</b>	Específica Regional	Planejamento urbano e regional
<b>PUCE (Austrália)</b>	Específica Regional	Planejamento urbano e regional
<b>Britânica</b>	Específica Multifinalidade	Planejamento urbano e regional
<b>Russa</b>	Específica Regional	Planejamento urbano e regional
<b>Hinojosa e Leon</b>	Específica	Planejamento e projeto de estradas

<b>METODOLOGIA</b>	<b>FINALIDADE</b>	<b>UTILIZAÇÃO</b>
<b>ZERMOS</b>	Específica	Movimento de massa (planejamento)
<b>Espanhola</b>	Específica Regional	Planejamento regional e territorial
<b>USA (Kiefer)</b>	Específica Regional	Planejamento urbano e regional
<b>Canadá</b>	Específica Multifinalidade	Planejamento urbano e regional

**Fonte: KOPEZINSKI, 2000 apud HIGASHI, 2006.**

No Brasil, aponta-se para as décadas de 60 e 70 o surgimento de trabalhos mais consistentes na área de mapeamento geotécnico, baseadas em metodologias estrangeiras. A partir da década de 80, o desenvolvimento de metodologias nacionais se intensificou, sobretudo com as publicações do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/SP) e da Universidade Estadual Paulista (UNESP/Rio Claro) (RODRIGUES, 2008).

Mafra Junior (2007) acrescenta que na década de 90 surgem simpósios e congressos específicos da área, afirmando que o momento é de discussão, aprimoramento, consolidação e divulgação dos trabalhos.

### **2.5.2. Metodologias Nacionais**

Destacaremos aqui algumas das metodologias de mapeamento geotécnico desenvolvidas no país que tiveram e ainda têm contribuições significativas na área.

#### *2.5.2.1. Metodologia IPT*

O método elaborado pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) foi desenvolvido na década de 80, baseado em trabalhos realizados nas encostas dos morros de Santos e São Vicente, no litoral do estado de São Paulo, seguidos pelas cartas da Região Metropolitana de São Paulo e do Guarujá, respectivamente (RODRIGUES, 2008).

Descrita no trabalho de Prandini et al. (1995), a metodologia do IPT aborda que os objetivos das cartas geotécnicas são:

- Prever o desempenho da interação entre a ocupação e o meio físico, bem como os próprios conflitos entre as diversas formas de uso territorial;

- Orientar medidas preventivas e corretivas no sentido de minimizar custos e riscos nos empreendimentos de uso do solo.

Miranda (2005) aponta que nessa metodologia, geralmente são efetuados estudos de:

- Caracterização do meio físico: geologia, geomorfologia, dinâmica dos sedimentos nos canais, cobertura vegetal e episódios pluviais;
- Uso e ocupação da área (urbana, mineração e unidades de conservação ambiental);
- Cartografia geotécnica (contendo áreas de risco ao escorregamento e aptidões ao uso do solo).

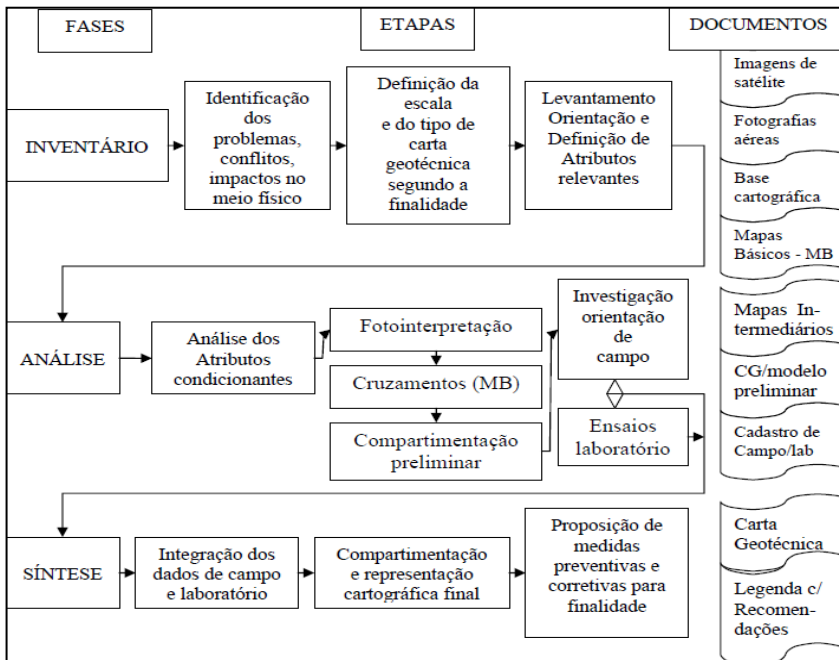
Zuquette e Gandolfi (2004) afirmam que são produtos cartográficos produzidos pelo IPT:

- Cartas geotécnicas propriamente ditas - expõem limites e potencialidades dos terrenos e definem diretrizes de ocupação para um mais usos do solo;
- Cartas de Risco - destacam a avaliação de danos potencial à ocupação, diante de uma ou mais características ou fenômenos naturais ou induzidos por essa mesma ocupação;
- Cartas de suscetibilidade – têm gradações de probabilidade de desencadeamento de um ou mais fenômenos naturais ou induzidos pela ocupação;
- Cartas de atributos ou de parâmetros – limitam-se a distribuição especial de uma ou mais características (geotécnicas, geológicas, etc.) do terreno.

As cartas geotécnicas resultantes desta metodologia, em SIG, podem ser atualizadas constantemente, servindo como base para o poder público identificar áreas que apresentem problemas de escorregamentos, erosões, etc., definindo a necessidade ou não de obras estruturais. Além disso, constituem um importante instrumento de planejamento e uso do solo, como: seleção de áreas para implantação de empreendimentos industriais ou residenciais, planos diretores, planos de defesa civil, estudos de impacto ambiental, planejamento e fiscalização de obras, elaboração de cartas de riscos, suscetibilidades e aptidões e seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos.

A Figura 11 apresenta um fluxograma do funcionamento geral desta metodologia.

**Figura 11-Fluxograma metodologia de cartografia geotécnica aplicada no IPT.**



**Fonte: (Rodrigues, 2008).**

### 2.5.2.2. Metodologia UNESP/Rio Claro

Esta metodologia, desenvolvida com base nos trabalhos de Cerri (1996) e Zaine (2000), tem semelhança filosófica com a metodologia PUCE (Austrália), embora sejam diferentes no que se refere aos procedimentos e conteúdos. Ela também foi influenciada pela metodologia do IPT, principalmente no que se refere as cartas de risco (RODRIGUES, 2008).

A filosofia seguida por esta metodologia é a de que as avaliações genéricas devem apontar os locais que necessitam de avaliações mais precisas. Assim, caracteriza-se como uma ferramenta para o planejamento em nível regional (1:50.000 ou 1:25.000), que avança para o nível local (1:25.000 ou 1:10.000) e evolui para o nível de detalhe (1:5.000 ou maior), conforme as necessidades identificadas (ABREU, 2007).

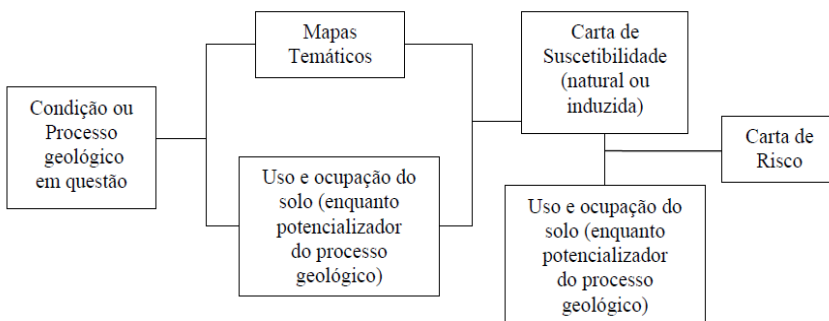


Cerri e Paula (2004, apud Rodrigues, 2008) afirmam que os objetivos principais das cartas geotécnicas resultantes deste método são:

- Apresentar critérios técnicos adequados ao parcelamento do solo para ocupação urbana, por meio da identificação de restrições legais e restrições devidas às características geotécnicas do terreno;
- Auxiliar no planejamento mais criterioso e adequado para a implantação de parcelamento do solo, visando orientar estudos de detalhe a serem realizados na execução das obras de instalação urbana;
- Minimizar custos, identificando os locais mais favoráveis a instalação urbana, evitando obras desnecessárias e onerosas.

A Figura 12 apresenta um roteiro metodológico para elaboração da carta de risco, por essa metodologia.

**Figura 12-Roteiro Metodológico para elaboração de cartas de risco.**



**Fonte: Rodrigues, 2008.**

#### 2.5.2.3. Metodologia EESC/USP – (Zuquette – 1987)

Esta metodologia é baseada nos trabalhos realizados na elaboração de mapas geotécnicos, especialmente no estado de São Paulo, pelo grupo de pesquisadores do Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), iniciados por Zuquette (1987) (MAFRA JUNIOR, 2007). É a metodologia que tem sido mais largamente utilizada no âmbito nacional.

Esta metodologia visa a identificação de unidades de solo cada vez menores nas áreas de interesse que apresentem uniformidade em função das características do relevo. Essa identificação se dá através de

geoprocessamento, identificação de fotografias aéreas e de trabalho de campo com visitas in loco. (HIGASHI, 2006).

Segundo Zuquette (1987), a sistemática EESC/USP baseia-se na definição de quatro classes de documentos cartográficos de representação dos atributos obtidos e/ou avaliados:

1. Mapas básicos fundamentais (topográfico, geológico e das águas).
2. Mapas opcionais (pedológico, geofísico, geomorfológico, climático e de ocupação atual ou prevista).
3. Mapas auxiliares (eventuais).
4. Cartas derivadas ou interpretativas: erodibilidade, escavabilidade, de disposição de resíduos, fundação, estabilidade de taludes, vulnerabilidade das águas subterrâneas, etc.

Os estudos oriundos desta metodologia não estão voltados para solução de problemas existentes, mas na identificação de condições que possam desencadear processos de desequilíbrio, preenchendo informações sobre meios físicos desconhecidos. Eles atendem a situação de prevenção e gerenciamento, e tem como finalidade se obter uma visão geral da área de estudo ou podem ser direcionados a um vetor específico (estradas, erosão, etc.) (ABREU, 2007).

#### *2.5.2.4. Metodologia da UFRGS (Davison Dias – 1995)*

Como atestado anteriormente, grande parte das novas metodologias de mapeamento geotécnico são oriundas de estudos europeus e dos EUA, ou seja, de países situados em zonas não tropicais. O Brasil apresenta mais de 80% do seu território coberto por solos tropicais e subtropicais, diferindo em muitos aspectos dos solos estudados nas tradicionais referências bibliográficas de geotecnia.

Dias (1995) indica que muitos tipos de rocha são encontrados no Brasil e que, sob ação dos processos geológicos e pedogenéticos, são formados perfis de solo não considerados nas metodologias estrangeiras. Numa mesma classe de solo podem ser enquadrados solos com comportamentos diferentes.

Assim, baseando-se em vários estudos feitos no Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Bahia e Amazonas, foi desenvolvida pelo Grupo de Geotecnia da UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul) uma metodologia denominada Mapeamento Geotécnico de Grandes Áreas, proposta por Regina Davison Dias (1995), professora da

referida universidade. Esta proposta metodológica possui grande aceitação, principalmente no sul do país.

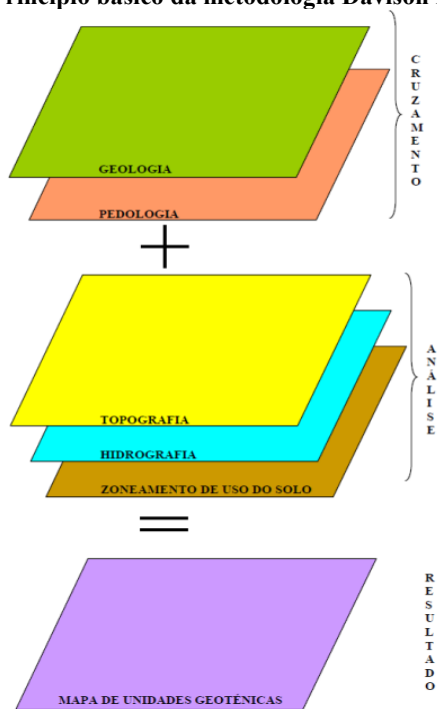
Higashi (2006) aponta que, em suma, a metodologia utiliza o cruzamento de mapas pedológicos e geológicos com indicações de comportamento do solo para que se obtenha um terceiro mapa de estimativa de comportamento de solo, o mapa geotécnico. O autor alerta ainda, que as propriedades dos solos podem apresentar variações de local para local e que os resultados obtidos através da metodologia de mapeamento geotécnico somente fornecem subsídios para uma estimativa de comportamento, não podendo ser usados como valores de projeto.

Mafra Junior (2007) explica que a metodologia proposta por Davison Dias (1995) avalia o perfil do solo sob a ótica da pedologia e da geologia. A primeira, avaliando os horizontes de superfície A, B e C (além de outros intermediários) e interpretando a descrição pedológica com vistas à geotecnia. A segunda, a partir da rocha de origem e subindo, avaliando os horizontes de rocha, rocha alterada e solo residual, até a camada superficial. O autor acrescenta que os trabalhos que utilizam desta metodologia levam em consideração também outros fatores, como a geomorfologia, a hidrografia, o zoneamento e uso dos solos, dentre outros. Estes dados, somados as saídas de campo e a realização ou obtenção de dados de ensaios geotécnicos compõem a base de um mapeamento geotécnico.

A Figura 13 apresenta o funcionamento desta metodologia:

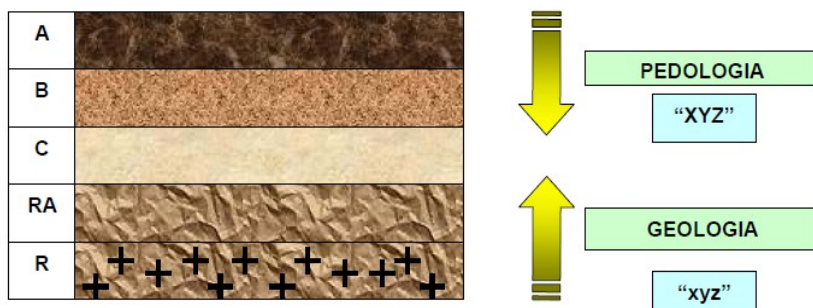
Higashi (2006) alerta para que a classificação geotécnica não seja confundida com a classificação pedológica, fato possível devido a origem das mesmas e a semelhança da simbologia. Dias (1995) explica que a classificação de uma unidade geotécnica é estimada usando a simbologia “ABCxyz”, onde as letras maiúsculas “ABC” correspondem a classificação pedológica do horizonte superficial (horizontes A e B), e as minúsculas “xyz” identificam a geologia, caracterizando os horizontes C, RA e R, como mostra a Figura 14

Figura 13-Princípio básico da metodologia Davison Dias (1995).



Fonte: Mafra Junior, 2007.

Figura 14-Simbologia das unidades geotécnicas segundo Davison Dias (1995).



Fonte: Higashi (2002).

Dias (1995) indica que, na classificação geológica, é considerada a rocha dominante. Caso haja mais de uma litologia dominante no material do substrato, deve-se adotar as siglas destas litologias em letras minúsculas, separadas por vírgulas.

O Quadro 11 e Quadro 12 apresentam a simbologia das classes pedológicas e geológicas, de acordo com a metodologia.

**Quadro 11-Simbologia simplificada das classes pedológicas.**

<b>Sigla</b>	<b>Classificação</b>	<b>Sigla</b>	<b>Classificação</b>
<b>A</b>	Aluviais	<b>P</b>	Podzóis Indiscriminados
<b>AQ</b>	Areias Quartzosa	<b>PB</b>	Podzólico Bruno-Acinzentado
<b>B</b>	Brunizem	<b>PE</b>	Podzólico Vermelho-Escuro
<b>BV</b>	Brunizem Vértico	<b>PL</b>	Planossolo
<b>C</b>	Cambissolo	<b>PLV</b>	Planossolo Vértico
<b>CB</b>	Cambissolo Bruno	<b>PLP</b>	Planossolo Plíntico
<b>GH</b>	Glei	<b>PT</b>	Plintossolo
<b>HO</b>	Solo Orgânico	<b>PV</b>	Podzólico Vermelho-Amarelo
<b>LA</b>	Latossolo Amarelo	<b>R</b>	Litólico
<b>LB</b>	Latossolo Bruno	<b>TR</b>	Terra Roxa Estruturada
<b>LBC</b>	Latossolo Bruno Câmbico	<b>TB</b>	Terra Bruna-Estruturada
<b>LBR</b>	Latossolo Bruno-Roxo	<b>TBR</b>	Terra Bruna-Roxa
<b>LE</b>	Latossolo Vermelho-Escuro	<b>TBV</b>	Terra Bruna Podzólica
<b>LR</b>	Latossolo Roxo	<b>V</b>	Vertissolo
<b>LV</b>	Latossolo Vermelho-Amarelo		

**Fonte: Dias, 2001.**

**Quadro 12-Simbologia simplificada das classes geológicas.**

<b>Sigla</b>	<b>Classificação</b>	<b>Sigla</b>	<b>Classificação</b>
<b>a</b>	Arenito	<b>g</b>	Granito
<b>ag</b>	Argilito	<b>gl</b>	Granulito
<b>na</b>	Andesito	<b>gn</b>	Gnaiss
<b>ar</b>	Ardósia	<b>gd</b>	Granitoide
<b>b</b>	Basalto	<b>ma</b>	Mármore
<b>br</b>	Brecha	<b>p</b>	Pelito
<b>c</b>	Conglomerado	<b>q</b>	Quartzito
<b>ca</b>	Calcáreo	<b>r</b>	Riolito
<b>cm</b>	Complexo metamórfico*	<b>si</b>	Sienito
<b>cr</b>	Carvão	<b>s</b>	Siltito
<b>d</b>	Diorito	<b>sq</b>	Sedimentos quaternários
<b>da</b>	Dacito	<b>st</b>	Sedimentos terciários
<b>f</b>	Folhelho	<b>x</b>	Xisto

**Nota: (\*) - Complexo formado por várias rochas metamórficas de difícil individualização.**

**Fonte: Dias, 2001.**

Vários trabalhos, teses e dissertações adotaram esta metodologia de mapeamento geotécnico, que constitui base geotécnica para o desenvolvimento da metodologia utilizada neste trabalho, detalhada a seguir.

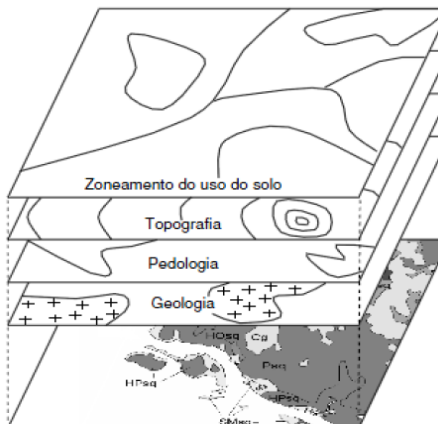
#### *2.5.2.5. Metodologia proposta por Higashi (2006)*

As metodologias nacionais e mundiais de mapeamento geotécnico, embora utilizem-se de diversas maneiras na compreensão do comportamento geomecânico dos solos, não avaliam as áreas de solos que serão ocupadas em curto prazo pelos centros urbanos. Foi pensando nisso que Higashi (2006) criou uma nova metodologia de mapeamento geotécnico, aplicável em zonas costeiras.

Baseado no Mapeamento Geotécnico de Grandes Áreas, de Davison Dias (1995), a proposta do professor Higashi é o planejamento geotécnico da expansão urbana, levando em consideração não apenas as peculiaridades dos solos tropicais e subtropicais, mas as vertentes do crescimento urbano. Como resultado, os planejadores municipais tem uma ferramenta que permite uma orientação mais segura na ocupação dos solos.

A metodologia inicia-se com uma análise preliminar abrangente da geotecnia do local estudado. Em seguida, com mapas da geologia, pedologia e curvas de nível, cria-se um mapa de estimativas de unidades geotécnicas, com as mesmas simbologias adotadas por Dias (1995). A Figura 15 esquematiza a elaboração do mapa geotécnico a partir dos outros mapas citados.

**Figura 15-Cruzamento de mapas pela Metodologia Davison Dias.**



**Fonte: Higashi, 2002.**

Com o mapa preliminar, realizam-se ensaios específicos em cada unidade geotécnica a fim de determinar o comportamento geomecânico dos polígonos gerados. Em seguida, faz-se uma análise temporal da evolução da mancha urbana através de vetores de crescimento urbanos, que indicam a tendência do uso e ocupação do solo por estruturas civis.

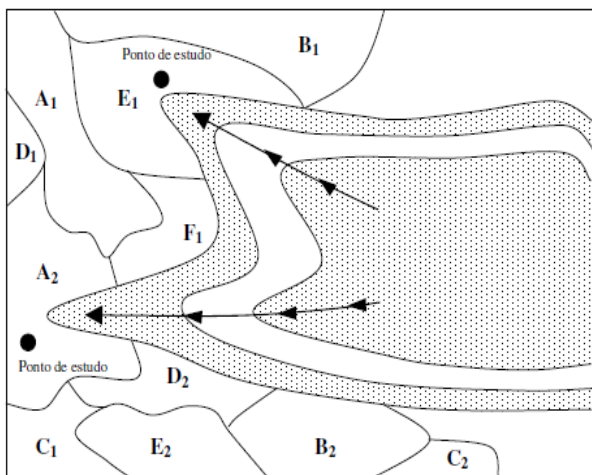
Em sequência, define-se as áreas de estudo através da individualização de universos geotécnicos, que é realizada através da diferenciação dos tipos de solos. Este procedimento deve ser executado em três etapas:

- a) Construção de modelos de elevação e declividades – usando SIG;
- b) Construção e análise de um banco de dados de sondagens SPT;
- c) Trabalhos de campo – utilizando tradagens nos solos e uso de GPS.

Em posse dos modelos de elevação e declividades, já é possível verificar uma diferenciação preliminar entre os solos sedimentares e residuais das regiões costeiras. A seguir, inicia-se o processo de identificação, em campo, dos universos individualizados nos SIG.

Após, definem-se os pontos de coleta de amostras, realizadas de acordo com os vetores de crescimento urbano, nas prováveis áreas de ocupação do centro urbano. A Figura 16 exemplifica a identificação de pontos de coleta a partir dos vetores de expansão urbana.

**Figura 16- Exemplo de definição de ponto de coleta.**



**Fonte: Higashi, 2006.**

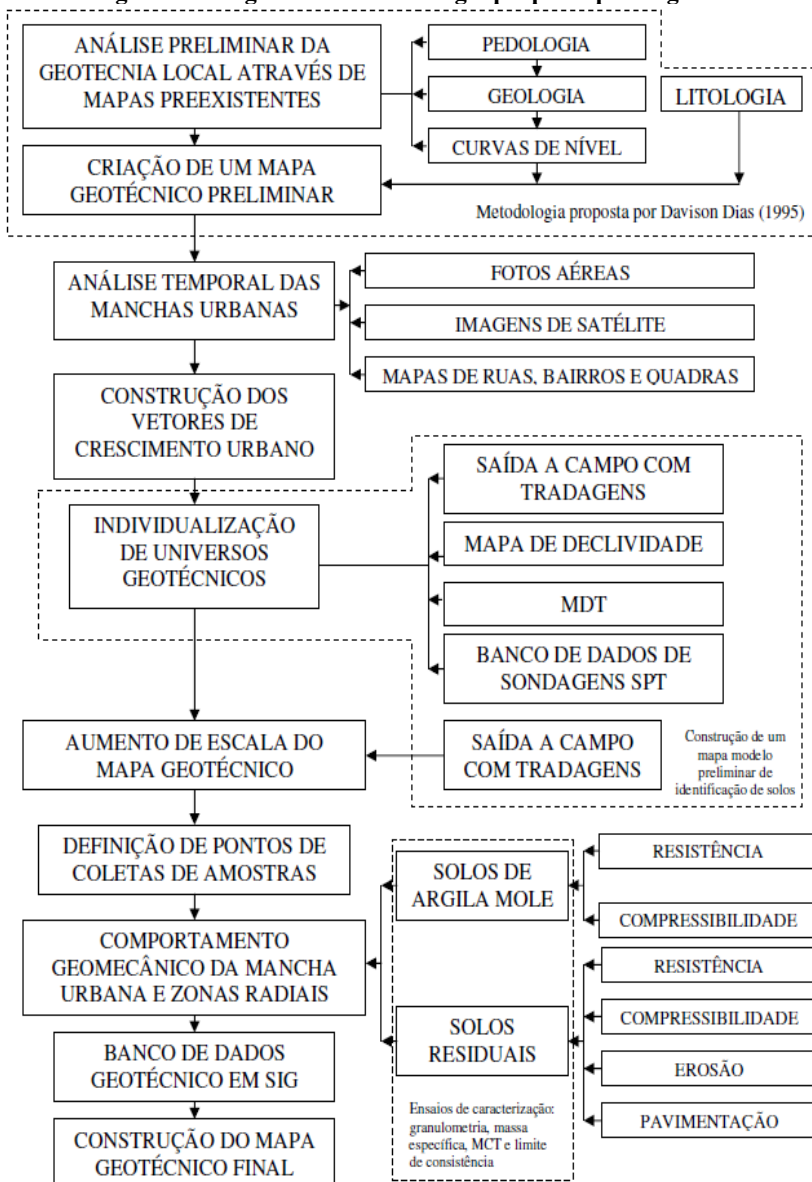
Após a coleta de amostras, dá-se início aos ensaios de laboratório para a determinação dos parâmetros de comportamento geomecânico. Com os resultados obtidos, cria-se um banco de dados espacial em ambiente SIG, sem redundância de dados e que permita acesso rápido e atualização das informações por um grande número de usuários.

Por ultimo, cria-se o mapa geotécnico final, construído com base no mapa geotécnico de escala ampliada e nos resultados de ensaios de campo e laboratório realizados nos pontos de estudo. Higashi acrescenta ainda que o mapa final deve ser apresentado da forma mais simplificada possível, através de unidades denominadas “zonas de solo”, já que a ocupação dos solos é orientada por órgãos públicos.

A Figura 17 apresenta um fluxograma esquemático da metodologia proposta por Higashi (2006).



**Figura 17-Diagrama da metodologia proposta por Higashi.**



Fonte: Higashi, 2006.

## 2.6. MODELO SHALSTAB

O Modelo SHALSTAB, abreviação de Shallow Stability, foi desenvolvido por Montgomery e Dietrich (1994), e vem sendo muito utilizado em regiões distintas do planeta. Trata-se de um modelo determinístico distribuído baseado na combinação do modelo de estabilidade de encosta infinita e no modelo hidrológico de estado uniforme, a fim de prever a ocorrência de um deslizamento raso em função da quantidade de chuva e características geotécnicas do local estudado. (Guimarães et al., 2003).

A seguir serão apresentadas as formulações matemáticas para os modelos de estabilidade de encosta e hidrológico.

### 2.6.1. Modelo de Estabilidade de Encosta

O Modelo de Estabilidade de Encosta baseia-se no critério de Mohr-Coulomb, que aponta que, durante a ocorrência de um escorregamento, um plano de ruptura no solo é formado quando as forças desestabilizantes são maiores que as forças de sustentação do material da encosta, como mostra a equação 1:

$$\tau = c + (\sigma - u)tg\phi \quad (1)$$

Onde:

$\tau$	[N/m <sup>2</sup> ]	Tensão de cisalhamento tangencial
$c$	[N/m <sup>2</sup> ]	Coesão do solo
$\sigma$	[N/m <sup>2</sup> ]	Tensão normal
$u$	[N/m <sup>2</sup> ]	Poropressão
$\phi$	[graus]	Ângulo de atrito interno do solo

Entretanto, para análise de escorregamentos translacionais rasos, classe de escorregamentos muito recorrente no Brasil, é comum usar o modelo de estabilidade de encosta infinita, aplicado para situações onde o comprimento da encosta é muito maior que a profundidade do solo. Nesta análise por talude infinito, os efeitos causados por atrito nas laterais e extremidades são desprezados, e a análise é considerada em relação a um plano infinito de solo sobre um plano inclinado (Guimarães et al., 2003).

Com isso, Selby (1993) propôs uma formulação para a aplicação da Equação (1) a encostas infinitas, dado por:

$$\rho_s \cdot g \cdot z \cdot \sin\theta \cdot \cos\theta = C_r + C_s + (\rho_s \cdot g \cdot z \cdot \cos^2\theta - \rho_w \cdot g \cdot h \cdot \cos^2\theta) \cdot \tan\theta \quad (2)$$

Onde:

$\rho_s$	[kg/m <sup>3</sup> ]	Densidade do solo úmido
$g$	[m/s <sup>2</sup> ]	Gravidade
$z$	[m]	Profundidade do solo
$\theta$	[graus]	Declividade da encosta
$C_r$	[N/m <sup>2</sup> ]	Coesão das raízes
$C_s$	[N/m <sup>2</sup> ]	Coesão do solo
$\rho_w$	[Kg/m <sup>3</sup> ]	Densidade da água
$h$	[m]	Altura da coluna de água no subsolo

A equação (2) pode ser rearranjada como:

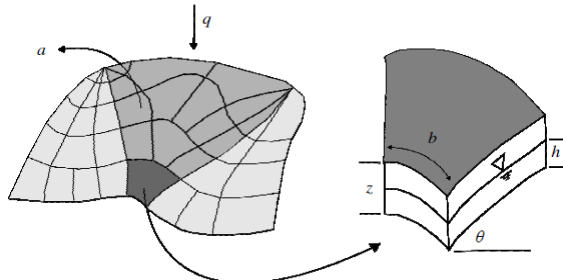
$$\frac{h}{z} = \frac{\rho_s}{\rho_w} \left( 1 - \frac{\tan\theta}{\tan\phi} \right) + \frac{C}{g \cdot z \cdot \cos^2\theta \cdot \tan\phi \cdot \rho_w} \quad (3)$$

Essa relação  $\left(\frac{h}{z}\right)$  representa a coluna de água presente dentro da camada de solo necessária para que a encosta venha a se desestabilizar.

### 2.6.2. Modelo Hidrológico de Estado Uniforme

O modelo hidrológico utilizado no SHALSTAB é o modelo hidrológico de estado uniforme, descrito por Beven e Kirkby (1979) e O'Loughlin (1986). Este modelo define um padrão de equilíbrio de saturação do solo baseado na área de contribuição à montante, na transmissividade do solo e na declividade. Neste modelo, considera-se que o fluxo infiltra até um plano de mais baixa condutividade, em geral o contato solo-rocha, seguindo então, um caminho determinado pela topografia (Guimarães et al., 2003). A Figura 18 mostra o modelo hidrológico de estado uniforme.

**Figura 18-Representação do modelo hidrológico de estado uniforme.**



**Fonte: Michel et al, 2012.**

Onde:

a	[m <sup>2</sup> ]	Área de contribuição a montante
b	[m]	Comprimento de contorno da fronteira de cada elemento
q	[m/d]	Taxa de recarga uniforme (intensidade da chuva)

O'Loughlin (1986) definiu a umidade como a parcela saturada do solo em um dado estado uniforme de recarga. Assim, o nível de saturação do solo é obtido através da relação entre a água que entra no sistema sob forma de recarga uniforme e a água que sai do sistema através de escoamento superficial, quando o solo está saturado:

$$W = \frac{Q \cdot a}{T \cdot b \cdot \sin\theta} \quad (4)$$

Onde:

W	[m/m]	Umidade do solo
a	[m <sup>2</sup> ]	Área de contribuição a montante
b	[m]	Comprimento de contorno da fronteira de cada elemento
Q	[m/d]	Taxa de recarga uniforme (intensidade da chuva)
T	[m <sup>2</sup> /dia]	Transmissividade do solo
Θ	[graus]	Declividade local

A umidade (W) também pode ser dado em função de h/z, ou seja, relação entre a coluna de água no subsolo e a espessura da camada de solo. A transmissividade (T) é o produto entre a condutividade hidráulica saturada e a espessura de solo:

$$T = K_s \cdot z \cdot \cos\theta \quad (5)$$

Onde:

T	[m <sup>2</sup> /dia]	Transmissividade do solo
K <sub>s</sub>		Condutividade hidráulica saturada
z	[m]	Espessura de solo
Θ	[graus]	Declividade local

### 2.6.3. Combinação dos Modelos

Como mencionado, o modelo SHALSTAB é uma combinação do Modelo de Estabilidade de Encosta com o Modelo Hidrológico de Estado Uniforme. Assim, a partir da razão h/z, unindo-se as equações (3) e (4), temos:

$$\frac{Q \cdot a}{T \cdot b \cdot \sin\theta} = \frac{\rho_s}{\rho_w} \left( 1 - \frac{\tan\theta}{\tan\phi} \right) + \frac{C}{g \cdot z \cdot \cos^2\theta \cdot \tan\phi \cdot \rho_w} \quad (6)$$

O SHALSTAB soluciona a equação (6) em função de Q e T. Dietrich et al. (1993) afirma que a razão Q/T corresponde ao controle hidrológico, enquanto a razão  $a/b \cdot \sin\Theta$  corresponde ao controle morfológico. Assim, rearranjando a equação, temos:

$$\frac{Q}{T} = \frac{\sin\theta}{a/b} \left[ \frac{\rho_s}{\rho_w} \left( 1 - \frac{\tan\theta}{\tan\phi} \right) + \frac{C}{g \cdot z \cdot \cos^2\theta \cdot \tan\phi \cdot \rho_w} \right] \quad (7)$$

O SHALSTAB usa a equação (7) para designar o grau de estabilidade de uma encosta. Os parâmetros de entrada requeridos pelo modelo são: C,  $\phi$ ,  $\rho_s$ , e z. As demais variáveis a, b e  $\Theta$  são obtidos através de um modelo digital do terreno (MDT) de boa qualidade. A resposta do modelo é gerada em função de um “parâmetro livre” (Q/T) responsável pela classificação do terreno segundo o grau de estabilidade (Michel et al., 2012). Originalmente, o SHALSTAB gera 7 classes de estabilidade:

- a) incondicionalmente instável e não saturado;
- b) incondicionalmente instável e saturado;
- c) instável e saturado;
- d) instável e não saturado;
- e) estável e não saturado;
- f) incondicionalmente estável e não saturado;
- g) incondicionalmente estável e saturado.

Assim, as classes de estabilidade expressam uma probabilidade de ocorrência de escorregamento, quanto maior a razão, maior a instabilidade do local.

O Quadro 18 identifica as classes de estabilidade em função da razão  $a/b$  e  $\tan\Theta$ .

**Quadro 13-Classes de estabilidade em função da razão  $a/b$  e  $\tan\theta$ .**

Classe de Estabilidade	Condição
<b>(A) Incondicionalmente estável e saturado</b>	$\left(\frac{a}{b}\right) > \left(\frac{T}{Q}\right) \sin\theta;$ $\tan\theta \leq \tan\phi \left(1 - \frac{\rho_w}{\rho_s}\right)$
<b>(B) Incondicionalmente estável e não saturado</b>	$\left(\frac{a}{b}\right) < \left(\frac{T}{Q}\right) \sin\theta;$ $\tan\theta \leq \tan\phi \left(1 - \frac{\rho_w}{\rho_s}\right)$

Classe de Estabilidade	Condição
<b>(C) Estável e não saturado</b>	$\left(\frac{a}{b}\right) < \left(\frac{T}{Q}\right) \sin\theta;$ $\tan\phi > \tan\theta^3 \tan\phi \left(1 - \frac{\rho_w}{\rho_s}\right);$ $\frac{a}{b} < \frac{\rho_s}{\rho_w} \left(1 - \frac{\tan\theta}{\tan\phi}\right) \frac{T}{Q} \sin\theta$
<b>(D) Instável e não saturado</b>	$\left(\frac{a}{b}\right) < \left(\frac{T}{Q}\right) \sin\theta;$ $\tan\phi > \tan\theta^3 \tan\phi \left(1 - \frac{\rho_w}{\rho_s}\right);$ $\frac{a}{b} \geq \frac{\rho_s}{\rho_w} \left(1 - \frac{\tan\theta}{\tan\phi}\right) \frac{T}{Q} \sin\theta$
<b>(E) Instável e saturado</b>	$\left(\frac{a}{b}\right) > \left(\frac{T}{Q}\right) \sin\theta;$ $\tan\phi > \tan\theta^3 \tan\phi \left(1 - \frac{\rho_w}{\rho_s}\right);$ $\frac{a}{b} \geq \frac{\rho_s}{\rho_w} \left(1 - \frac{\tan\theta}{\tan\phi}\right) \frac{T}{Q} \sin\theta$
<b>(F) Incondicionalmente instável e não saturado</b>	$\left(\frac{a}{b}\right) < \left(\frac{T}{Q}\right) \sin\theta;$ $\tan\phi > \tan\theta$
<b>(G) Incondicionalmente instável e saturado</b>	$\left(\frac{a}{b}\right) > \left(\frac{T}{Q}\right) \sin\theta;$ $\tan\phi > \tan\theta$

Fonte: DIETRICH e MONTGOMERY (1998 apud Ramos et al., 2002).

Ramos et al. (2002) acrescenta que é possível, ainda, criar um modelo simplificado, onde a coesão não é considerada. Nesse caso, há a possibilidade de assumir um único valor de  $Q/T$  para o limiar de estabilidade. Desta maneira, as 7 classes são reduzidas a apenas 4: incondicionalmente instável; incondicionalmente estável; instável e estável. A equação fica da seguinte maneira:

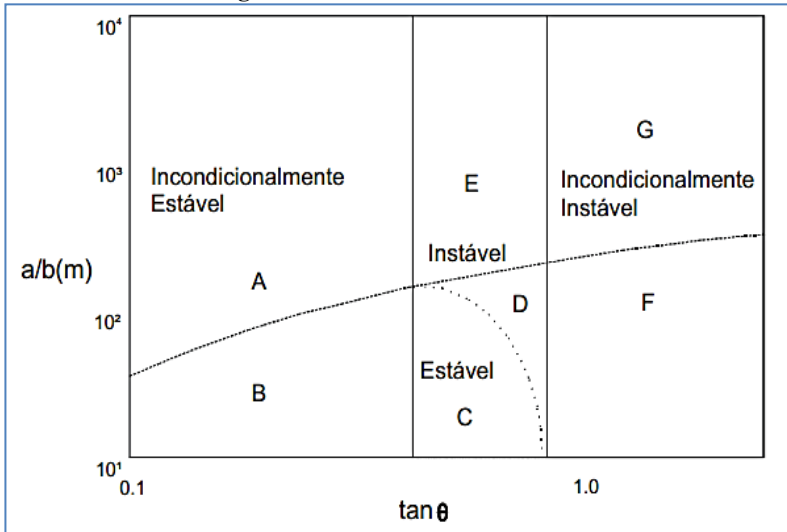
$$\frac{Q}{T} = \frac{\sin\theta}{a/b} \left[ \frac{\rho_s}{\rho_w} \left(1 - \frac{\tan\theta}{\tan\phi}\right) \right] \quad (8)$$

Rearranjando a equação em função de  $a/b$ , temos:

$$\frac{a}{b} = \frac{\rho_s}{\rho_w} = \sin\theta \left(1 - \frac{\tan\theta}{\tan\phi}\right) \cdot \frac{T}{Q} \quad (9)$$

A Figura 19 representa as 4 classes de estabilidade em um gráfico  $a/b$  em função da  $\tan\theta$ . A linha tracejada representa o limite de saturação e a linha pontilhada é definida a partir de valores obtidos pela equação (9).

**Figura 19-Classes de estabilidade.**



**Fonte: Ramos et al., 2002.**



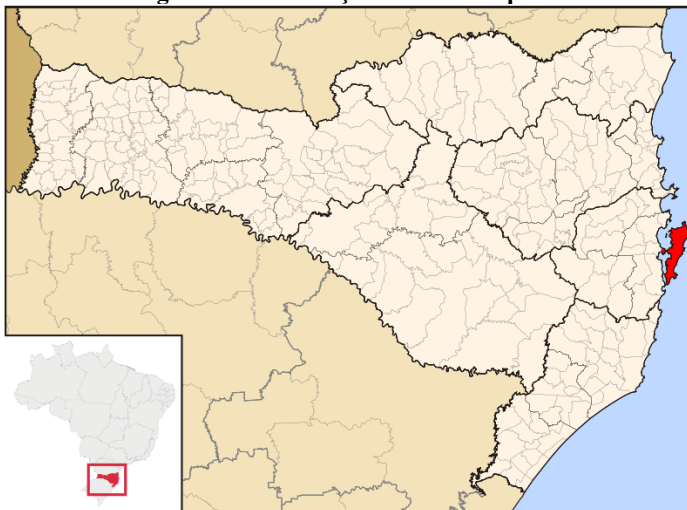


### 3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1. DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área a ser analisada neste trabalho situa-se em Florianópolis, capital do Estado de Santa Catarina, na Região Sul do Brasil, localizada entre os paralelos 27°22' e 27°50' de Latitude Sul e entre os meridianos 48°50' e 48°20' de Longitude Oeste. O município é limitado a leste pelo Oceano Atlântico, a oeste pelo município de São José, ao sul pela Baía Sul e ao norte pela Baía Norte.

**Figura 20-Localização de Florianópolis.**



**Fonte: Wikipédia, 2014.**

Segundo dados do IBGE (2014), o município apresenta uma área de 675,409 Km². A maior parte do seu território está situada na Ilha de Santa Catarina, com uma área de 656,70 Km², representando 97,23% do território da cidade, e a parte continental possui área de 18,709 Km². A ligação ilha-continente é dada pela Ponte Colombo Salles, Ponte Pedro Ivo Campos e Ponte Hercílio Luz, cartão postal da cidade desativada desde 1991 e ainda em processo de restauração.

O IBGE informa ainda, a evolução populacional de Florianópolis a partir de 1991 até o ano 2010, data do último censo realizado no país, conforme o Quadro 14.

**Quadro 14-Evolução Populacional de Florianópolis.**

<b>Ano</b>	<b>Florianópolis</b>	<b>Santa Catarina</b>	<b>Brasil</b>
<b>1991</b>	255.390	4.541.994	146.825.475
<b>1996</b>	268.720	4.844.212	156.032.944
<b>2000</b>	342.315	5.356.360	169.799.170
<b>2007</b>	396.723	5.866.252	183.987.291
<b>2010</b>	421.240	6.248.436	190.755.799
<b>2013*</b>	453.285	6.634.254	201.032.714

**Nota: (\*) – população estimada.**

**Fonte: IBGE, 2014.**

A população de 453.285 pessoas estimada para o ano de 2013 é a segunda maior do estado, atrás apenas de Joinville. A densidade demográfica da cidade é, entretanto, a maior do estado, sendo de 671,12 hab./Km<sup>2</sup>.

Sede do maior aglomerado populacional do estado, Florianópolis possui uma população miscigenada. Embora boa parte da população seja de ascendência portuguesa, mais precisamente açoriana, encontram-se ainda descendentes de alemães, italianos, poloneses, suecos, austríacos e espanhóis, além de outros em menor números.

A área de estudo deste trabalho compreende a Bacia de Santo Antônio de Lisboa, composta basicamente pelos bairros de Cacupé e Santo Antônio de Lisboa, situada na porção noroeste da ilha de Santa Catarina e com área aproximada de 3,26 Km<sup>2</sup>.

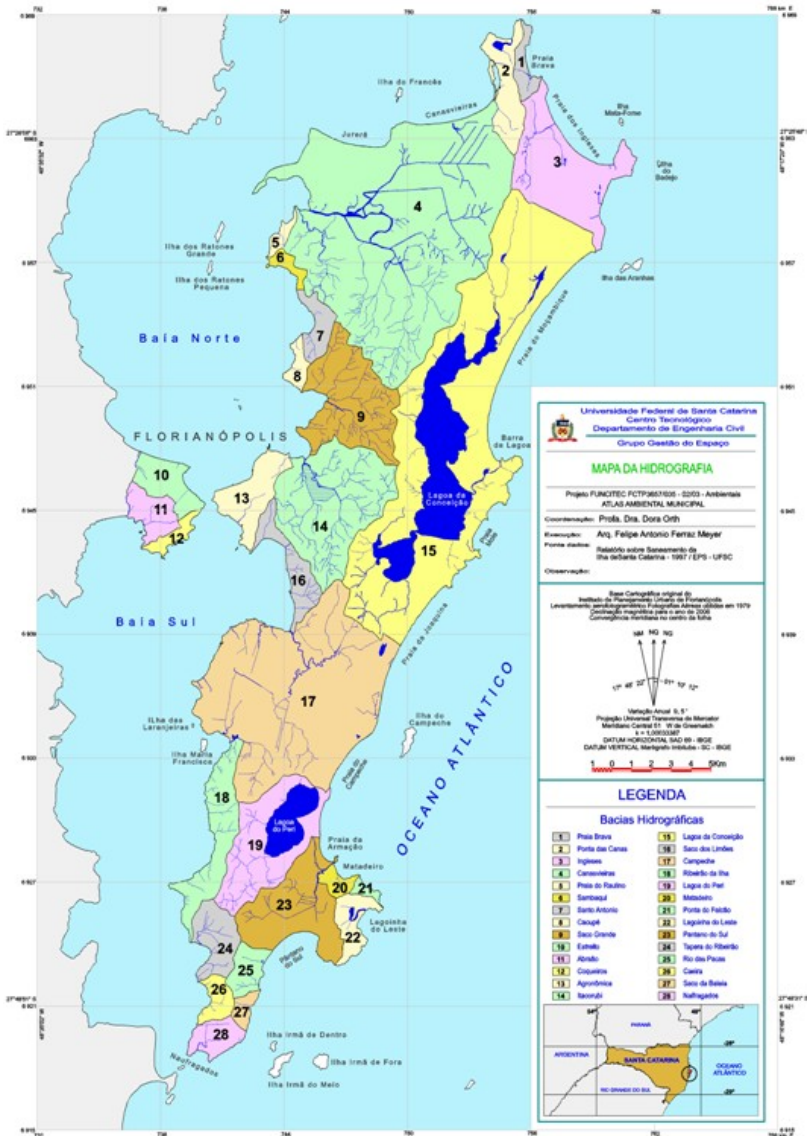
### 3.2. HIDROGRAFIA

Uma bacia hidrográfica pode ser definida como uma área na superfície terrestre, sobre a qual o escoamento superficial em qualquer ponto converge para uma única saída, chamada *exutória*. A bacia hidrográfica se estende até seu *divisor de água ou topográfico*, uma linha rígida imaginária que contorna a bacia. Essa linha separa as precipitações que caem em bacias hidrográficas vizinhas, e que escoam para cada um dos sistemas fluviais adjacentes.

Como visto anteriormente, o relevo de Florianópolis possui áreas de inclinações acentuadas, formando vertentes com córregos e quedas d'água que geram pequenos cursos d'água dependentes de eventos pluviométricos. Esses cursos d'água fazem parte das bacias hidrográficas de alguns rios da cidade que, em sua maioria, desembocam nas baías Norte e Sul.

A Figura 21 a apresenta o Mapa das Microbacias Hidrográficas de Florianópolis:

**Figura 21-Mapa Hidrográfico de Florianópolis.**



Fonte: (ATLAS, 2006)

As microbacias hidrográficas de Florianópolis apresentam dimensões e características físicas heterogêneas. Dentre as principais bacias da cidade podemos citar:

- Bacia do Rio Ratones,
- Bacia do Rio Tavares,
- Bacia do Itacorubi,
- Bacia do Saco Grande,
- Bacia da Lagoa da Conceição,
- Bacia da Lagoa do Peri.

Este trabalho tem como área de estudo a Bacia de Santo Antônio de Lisboa. numerada como 8 na Figura 21. Situada na porção noroeste da ilha de Santa Catarina e com área aproximada de 3,26 Km<sup>2</sup>, a Bacia de Santo Antônio de Lisboa apresenta uma hidrografia densa, com vários rios e contribuintes.

### 3.3. CLIMA

O clima da Bacia de Santo Antônio de Lisboa e de Florianópolis é característico de todo o litoral sul do Brasil, definido, segundo a classificação de Köppen, como Cfa, situada em zona intermediária subtropical, pertencente ao grupo mesotérmico úmido. Este tipo de clima caracteriza-se pela sua homogeneidade quanto a pluviometria, com chuvas bem distribuídas durante todo o ano.

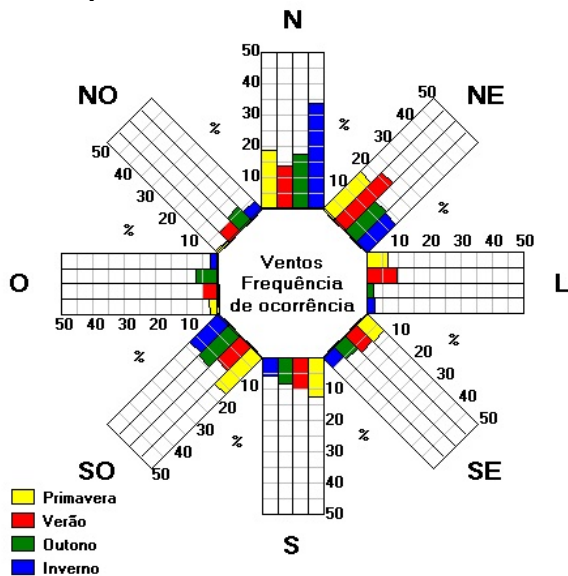
O caráter temperado do clima dá a cidade, ao longo do ano, uma oscilação térmica amena. A média anual da temperatura no período de 1923-1984 foi de 20,4 ° C. Fevereiro, mês mais quente, apresenta uma média mensal de 24,5 °C e julho, mês mais frio, 16,4 °C.

Rivero (1985) destaca que no clima de Florianópolis, há um percentual de nebulosidade maior no verão do que no inverno, o que faz diminuir a diferença entre as temperaturas máximas e mínimas destas estações.

A pluviosidade apresenta um índice de precipitação anual de 1600 mm ao norte da ilha e 1400 mm no sul da ilha, justificando uma umidade relativa anual de 85%, apresentando uma média de 140 dias de chuva por ano (ANDRADE, 1996)

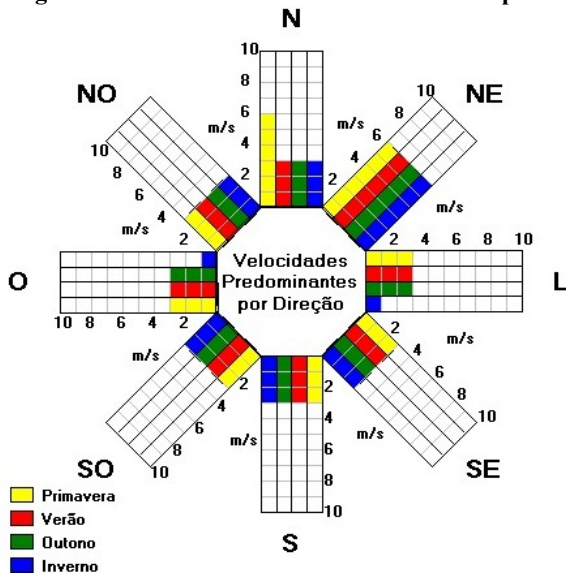
Os ventos predominantes na cidade são o norte e o nordeste, seguidos de uma parcela menor de ventos sudoeste e sul, com velocidades da ordem de 3 m/s. A Figura 22 e Figura 23, retiradas do programa SOL-AR, apresentam a rosa dos ventos para a frequência de ocorrência dos ventos e velocidade média para cada estação do ano.

Figura 22 Frequência de ocorrência dos ventos em Florianópolis.



Fonte: programa SOL-AR 6.1.1, 2012.

Figura 23-Velocidade dos ventos em Florianópolis.



Fonte: programa SOL-AR 6.1.1, 2012.

A amplitude térmica anual, diferença entre as temperaturas máximas e mínimas, é pequena devido à proximidade ao mar, que gera uma circulação localizada, com a formação de brisas terrestres e marítimas. A média das temperaturas máximas do mês mais quente varia de 26°C a 31°C e a média das mínimas do mês mais frio, de 7,5°C a 12°C. A temperatura média anual está em torno de 21°C. A temperatura mais baixa registrada na cidade foi de -2°C em 1975 e a máxima foi de 38°C.

### 3.4. FLORA E VEGETAÇÃO

O município de Florianópolis apresenta características ecológicas do bioma de Floresta Atlântica, mais especificamente da ecorregião de Restingas da Costa Atlântica, que possuem como formações vegetais predominantes a Floresta de Planície Quaternária e a Floresta Ombrófila Densa. Além disso, manifesta a existência de alguns elementos costeiros, tais como ilhas, baías, manguezais, restingas e dunas.

O desenvolvimento da ocupação humana na ilha ao longo de três séculos descaracterizou a paisagem original. Não só a floresta tropical sofreu com o desmatamento, mas também a restinga e os manguezais, que tiveram um encolhimento significativo. A vegetação atual é constituída, além de mangues e restingas, de pastagens implantadas, vegetação secundária pioneira, que representa 50% da cobertura vegetal atual, além de florestas secundárias e florestas primárias com interferência antrópica parcial (ATLAS, 2006).

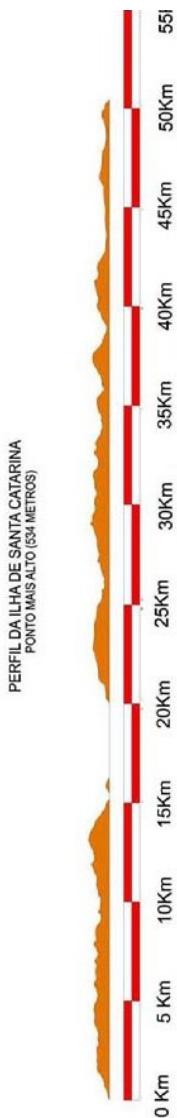
### 3.5. GEOMORFOLOGIA E RELEVO

O relevo de uma bacia hidrográfica tem grande influência sobre os fatores meteorológicos e hidrológicos, pois a velocidade do escoamento superficial é determinada pela declividade do terreno, enquanto que a temperatura, a precipitação, a evaporação são funções da altitude da bacia (VILLELA e MATTOS, 1975 apud ALVARENGA et al., 1984).

Florianópolis possui uma paisagem que é resultado do contraste entre as planícies litorâneas e as elevações montanhosas, gerando paisagens naturais bastante diversificadas.

O relevo da região é constituído por duas formações básicas (ATLAS, 2006):

**Figura 24 Perfil longitudinal da Ilha de SC**



**Fonte: Caraméz (2011).**

- *Terrenos Cristalinos* – Pré-Cambrianos, formam as partes mais elevadas da ilha;
- *Terrenos Sedimentares* - de formação recente, constituem as partes mais baixas da ilha, onde há formação de dunas, restingas e manguezais.

Caraméz (2011) afirma que as descrições da geomorfologia, nas regiões do cristalino, indicam solos de espessura em torno de 1 metro (horizontes A + B), onde predominam solos do tipo Podzólico Vermelho-Amarelo. As regiões menos acidentadas apresentam solo mais espesso que as regiões mais acidentadas, cuja erosão é mais acentuada.

As áreas sedimentares tem sua formação associada aos períodos Terciário e Quaternário, com predominância para as areias quartzosas que são solos ácidos, pobres em nutrientes e bastantes suscetíveis à erosão.

A Figura 24 apresenta o perfil longitudinal da Ilha de Santa Catarina, retirado de Caraméz (2011).

Na região específica da Bacia de Santo Antônio de Lisboa, verifica-se a heterogeneidade do relevo, apresentando áreas planas, mas também áreas de maior altitude distribuídas em seus limites a leste e sul.

Os mapas de relevo são de suma importância para a gestão municipal no uso de solo, uma vez que áreas de encosta com grandes declividades e áreas planas baixas são áreas de risco que podem ser identificadas, mapeadas, demarcadas e regulamentadas, a fim de evitar ocupação humana (ATLAS, 2006).

### 3.6. GEOLOGIA

A evolução dos conhecimentos geológicos e estruturais de Florianópolis vem sendo obtidas através de mapeamentos básicos desenvolvidos por diversos autores e projetos. Neste trabalho, fica evidenciado que a geologia da ilha é uma extensão dos grandes traços geológicos continentais.

A parte insular de Florianópolis é resultado de um grande numero de morros que correspondem aos topos de blocos mais elevados, separados do continente e entre

si por fossas tectônicas hoje preenchidas, total ou parcialmente, por sedimentação quaternária. (FLORIANÓPOLIS, 2009)

Para Caruso Junior (1993), a geologia de Florianópolis pode ser descrita como um conjunto de rochas cristalinas (granitos, gnaisses e riolitos) associados, representando o ciclo tectônico brasileiro, cortados localmente por diques de diabásio de idade Juro-Cretácica, sobrepostos por coberturas sedimentares recentes, relativas aos eventos Terciários/Quaternários.

As áreas montanhosas da cidade são constituídas por rochas cristalinas e ocupam aproximadamente 50% da área da ilha, através de um conjunto de elevações alinhadas na direção NE. Estes maciços rochosos servem como anteparos para o acúmulo de material sedimentar, comumente retrabalhado, muitas vezes derivado dos próprios morros. Os granitóides afloram principalmente nos topos dos morros sob a forma de matacões de médio e grande porte, onde a alteração superficial é bastante pronunciada e, nos costões como lajeados, quase não apresentando solos.

Além dos granitos e riolitos, o embasamento rochoso é representado por intrusões em forma de diques de diabásio, que possuem extensão limitada, com direção predominante N-S e NE-SW (direção predominante das falhas e fraturas da Ilha), apresentando-se geralmente alterados devido ao intemperismo. Estes diques ocorrem cortando os granitos, ao longo de toda a Ilha, alcançando em geral, alguns metros a dezenas de metros de largura e centenas de metros de extensão.

A Cobertura Sedimentar Quaternária, distribuída nas baixadas e planos da Ilha, é constituída por depósitos inconsolidados ou fracamente consolidados de areias, siltes, argilas ou conglomerados. É encontrada ao longo da planície costeira, nos vales dos principais cursos d'água, o longo de antigas lagunas ou nas proximidades de encostas.

O Quadro 15 representa a coluna estratigráfica de Florianópolis, construída por Guedes Júnior (2005):



**Quadro 15-Coluna estratigráfica de Florianópolis.**

<b>QUATERNÁRIO</b>
Holoceno e/ou Pleistoceno
Depósitos de praia; Depósitos de Leques Aluviais e Aluviais atuais (calhas de drenagens); Depósitos de manguezais; Depósitos eólicos antigos e atuais; Depósitos lagunares; Depósitos transicionais lagunares; Depósitos de turfas; Depósitos marinhos praias
<b>TERCIÁRIO / QUATERNÁRIO</b>
Depósitos de encostas
<b>JURO-CRETÁCEO</b>
Diques de diabásio
<b>PROTEROZOÍCO SUPERIOR AO EO-PALEOZOÍCO</b>
Magmatismo pós-tectônico
Riolito Cambirela Granito Itacorubi Suítes Pedras Grandes Granito Ilha ou Florianópolis
(Clico Tectônico Brasileiro)
Magmatismo tardi-tectônico
Granitóide São Pedro de Alcântara
Magmatismo sin-tectônico
Granitóide Paulo Lopes

**Fonte: GUEDES JUNIOR, 2005.**

No levantamento geológico da Bacia de Santo Antônio de Lisboa, foram identificadas duas unidades geológicas relativamente bem definidas: Suíte Intrusiva Pedras Grandes – Granito Florianópolis (PS&pgb), nas áreas de rochas cristalinas, e Sedimentos Subatuais Marinhos (QPM) nas áreas mais planas. Estas unidades geológicas serão explanadas de forma sucinta, neste trabalho.

### **3.6.1. Sedimentos Subatuais Marinhos (QPM)**

Os Sedimentos Subatuais Marinhos (QPM) são sedimentos quaternários que datam do pleistoceno, compostos por depósitos marinhos litorâneos e eólicos retrabalhados. Apresentam coloração castanho-avermelhada a castanho com presença de óxido de ferro, e são constituídos basicamente por areias quartzosas. Estão presentes em

terraços com altitude média (15 m) e apresentam uma espessura da ordem de 40 m.

### **3.6.2. Suíte Intrusiva Pedras Grandes – Granito Ilha (PS&pgb)**

Esta suíte corresponde a aproximadamente 90% das ocorrências rochosas de Florianópolis, se apresentando nesta bacia sob a forma de Granito Ilha. Raimundo (1998) aponta que os modelados apresentados por este granito são de morros altos, fortemente dissecados e com encostas íngremes, sendo um importante objeto de estudo deste trabalho.

O Granito Ilha apresenta coloração rosada a cinza claro e possui granulação média a grossa, com afloramentos de matacões principalmente de médio e grande porte. Datada do neoproterozóico superior, tem em sua composição, dentre outros minerais, quartzo, feldspato e biotita. Além disso, costuma ser cortado por diques de diabásio e riolito (FLORIANÓPOLIS, 2009).

Por apresentarem pouca espessura, o mapeamento dos diques de diabásio é bastante difícil, porém importante, uma vez que o contato granito/diabásio pode ser um condicionante para a ocorrência de escorregamentos, como já aconteceu na bacia de estudo e será apresentado no item 3.8. Isso ocorre devido ao maior fraturamento do diabásio e, consequentemente, maior permeabilidade e maior expansividade e plasticidade das argilas do seu horizonte C.

## **3.7. PEDOLOGIA**

A Ilha de Santa Catarina apresenta características de solos tropicais e subtropicais, com uma variedade muito grande de tipos de solos, com os mais diferentes graus de evolução, desde os menos aos mais evoluídos segundo a pedogênese.

Os tipos de solos presentes em Florianópolis são (FLORIANÓPOLIS, 2009):

- Argissolos
- Cambissolos
- Neossolos Litólicos
- Afloramento de Rochas
- Espodossolos Hidromórficos
- Gleissolos
- Organossolos
- Neossolo Quartzarênico

- Areias Quartzosas Marinhas
- Dunas

A Bacia de Santo Antônio de Lisboa possui duas unidades pedológicas bem distintas, que serão explanadas em sequência: Areia Quartzosa Marinha Álica (Amaf) e Argissolos, anteriormente denominado como Podzólico Vermelho-Amarelo Álico (PVa18).

O termo álico, presente em ambos os solos, corresponde ao caráter alítico, que segundo a EMBRAPA (1999), refere-se à:

“condição em que o solo se encontra dessaturado e apresenta teor de alumínio extraível  $\geq 4$  cmol<sub>c</sub>/kg de solo, associada à atividade de argila  $\geq 20$  cmol<sub>c</sub>/kg de argila e saturação por alumínio  $(100 \text{ Al}^{+3}/\text{S} + \text{Al}^{+3})^3 \geq 50\%$  e/ou saturação por bases  $(V\% = 100 \text{ S/T}) < 50\%$ .”

Em outras palavras, o solo de caráter alítico apresenta alta saturação por alumínio, resultando em um baixo potencial nutricional abaixo da camada arável. Assim, oferecem uma barreira química à penetração de raízes de plantas mais sensíveis.

### **3.7.1. Areia Quartzosa Marinha Álica (Amaf)**

São caracterizadas por solos arenosos, profundos, hidromórficos e excessivamente drenados. São derivadas de sedimentos não consolidados de origem marinha, apresentando coloração cinza clara e bruno amarelado. Por serem associadas a relevo plano, não serão objetos de estudo profundo neste trabalho.

### **3.7.2. Argissolos/Podzólico Vermelho-Amarelo Álico (PVa18)**

Oriundo do Granito Ilha, é o tipo de solo de maior ocorrência na ilha, e está associada ao relevo fortemente ondulado e montanhoso. Raimundo (1998) aponta que este é o tipo de solo onde a ocupação urbana tem causado os maiores problemas de estabilidade de encostas, sendo, portanto, o principal objeto de estudo deste trabalho.

Os PVa18 caracterizam-se por possuir argilas de atividade baixa (Tb) do grupo das caolinitas no horizonte superficial, mas podendo apresentar minerais expansivos em horizontes de maior profundidade. Possuem perfil do horizonte A ao R, passando pelo B, B/C, C e RA.

Seu horizonte B geralmente apresenta coloração vermelho-amarelada e espessuras que variam de 1 a 3 m.

O horizonte C apresenta cores rosadas e amareladas, podendo ter espessuras de até 25 m de profundidade. Raimundo op. cit., aponta que este horizonte saprolítico mostra os planos de falhas e fraturas do substrato de origem, sob a forma de veios argilizados, onde costumam ocorrer as rupturas destes taludes, principalmente quando há a exposição deste horizonte, altamente erosivo.

Santos (1997) observou que, nos ensaios de resistência ao cisalhamento inundados, os parâmetros de resistência, principalmente a coesão, apresentaram um decréscimo significativo. A autora aponta que as superfícies de ruptura ocorreram segundo planos de concentração de argila, que ocorrem preenchendo zonas de diaclase das rochas de origem.

### 3.8. ESCORREGAMENTOS ANTERIORES

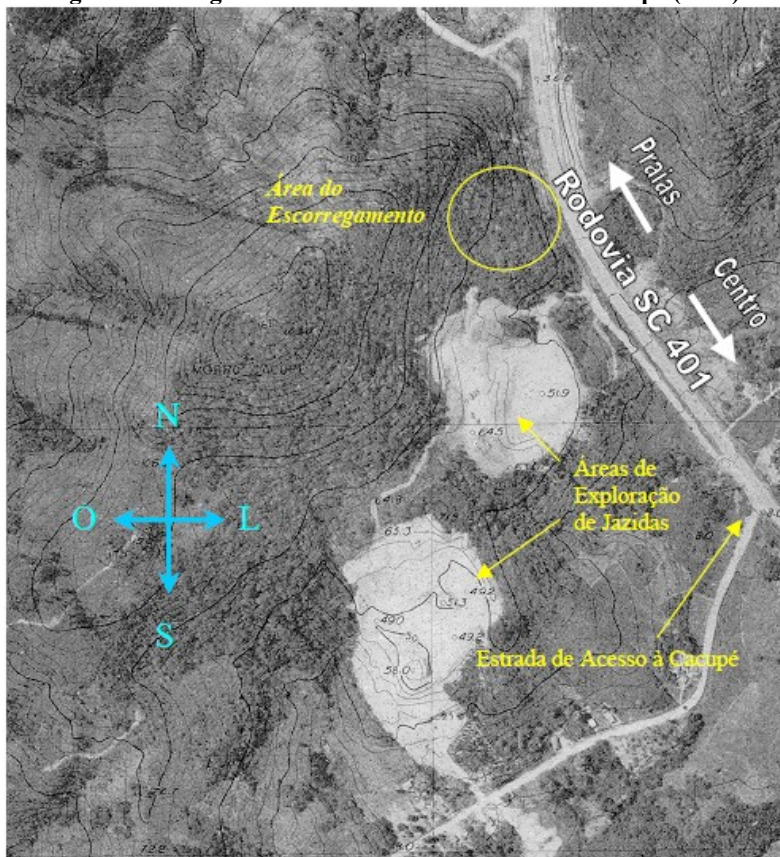
Neste item serão apresentados, sucintamente, as análises retroativas de dois escorregamentos às margens da SC-401, sendo um no Morro do Cacupé, em 1996, e um no Morro da Praia Comprida, em 2008. Ressalta-se que o escorregamento de 1996 ocorreu na parte sudeste do Morro do Cacupé, fora das delimitações da bacia deste estudo, mas parte das mesmas condições morfológicas e climáticas.

#### 3.8.1. O Escorregamento de 1996

A região afetada por este escorregamento engloba a margem esquerda da SC-401, sentido norte, logo ao lado do trevo de acesso ao bairro Cacupé. Raimundo (1998) aponta que o volume de solo deslizado estimado foi de 7.000 m<sup>3</sup>. O trecho escorregado já havia apresentado instabilidade no ano de 1983, associado as chuvas intensas.

A geologia do local é composta por Granito Ilha cortado diagonalmente por um dique de diabásio, e a pedologia é residual oriunda do substrato de origem, o que explica a dinâmica do escorregamento.

**Figura 25-Fotografia aérea do corte do Morro do Cacupé (1979).**



**Fonte: RAIMUNDO (1998).**

A água infiltra pelo horizonte C e fraturas do granito, assim como pelo solo de alteração do diabásio, percolando por gravidade até o encontro com o dique de diabásio. Intensamente fraturado, este acabava funcionando como um dreno coletor de água subterrânea, comprovado pela surgência de água próximo à pista, ao pé do talude. Assim, com esse fluxo de drenagem interna associada a chuvas recorrentes, ocorria uma lubrificação do contato solo/rocha no granito.

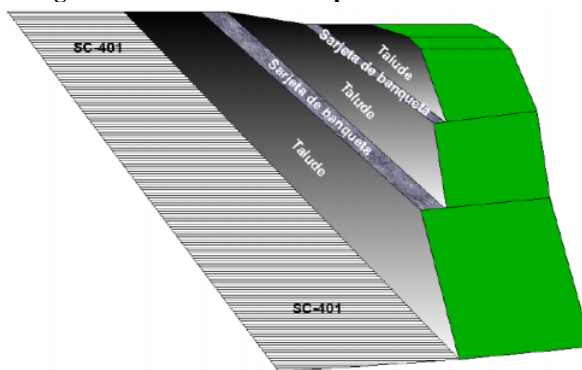
**Figura 26-Fluxo de água no talude.**



**Fonte: RAIMUNDO (1998).**

Essa dinâmica já era conhecida. No ano de 1983 o talude já havia se instabilizado, sob a forma de escorregamento deflagrado por chuvas intensas. Nessa época, a rodovia SC-401 chegou a ter as suas duas pistas obstruídas. A solução de contorno do problema foi o retaludamento da seção junto a um sistema de drenagem superficial, com três banquetas.

**Figura 27-Corte do talude após o retaludamento.**



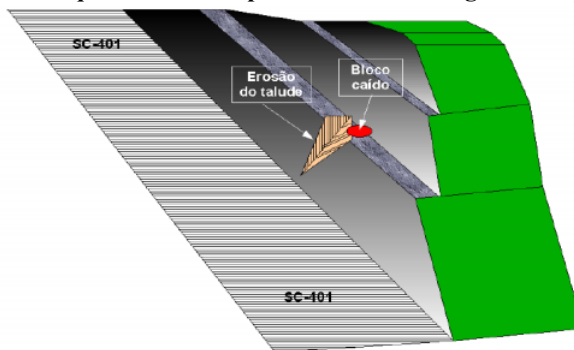
**Fonte: PROSUL, 2012.**

Em 1989, com o início do projeto de duplicação da rodovia, verificou-se que o sistema de drenagem, sem manutenção, já havia sido modificado em virtude de pequenos escorregamentos localizados, agravando o processo erosivo do local. Optou-se, então, por uma solução de contenção sob a forma de enrocamento na base do talude.

A execução efetiva das obras de duplicação iniciaram-se apenas em 1995, quando a empresa responsável solicitou a limpeza das canaletas de drenagem no início de dezembro deste ano. Entretanto, forte chuvas castigaram o município ao final deste mesmo mês,

rompendo trechos das banquetas e acentuando o processo erosivo do local.

**Figura 28-Banqueta obstruída por erosão e escorregamentos pequeno.**

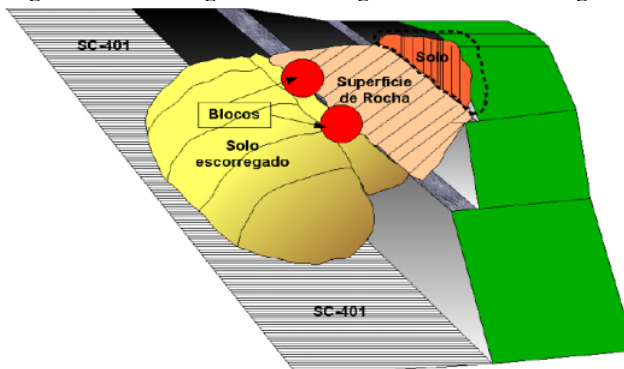


**Fonte: PROSUL, 2012.**

No dia 06 de fevereiro de 1996, depois de um mês de janeiro com altos índices pluviométricos, um escorregamento aconteceu. Embora o material escorregado (composto por solo e matacões) tenha ficado retido na primeira banquetta do talude, o sistema de drenagem superficial ficou destruído, instabilizando ainda mais o talude.

Com a continuidade dos eventos pluviométricos no mês de fevereiro, e com o sistema de drenagem comprometido, o talude mostrava sinais evidentes de movimentação. De fato, em 06 de março de 1996, uma área ainda maior escorregou, atingindo duas pistas da rodovia e impedindo o tráfego por diversos dias.

**Figura 29-Escorregamento deflagrado e rodovia atingida.**



**Fonte: PROSUL, 2012.**

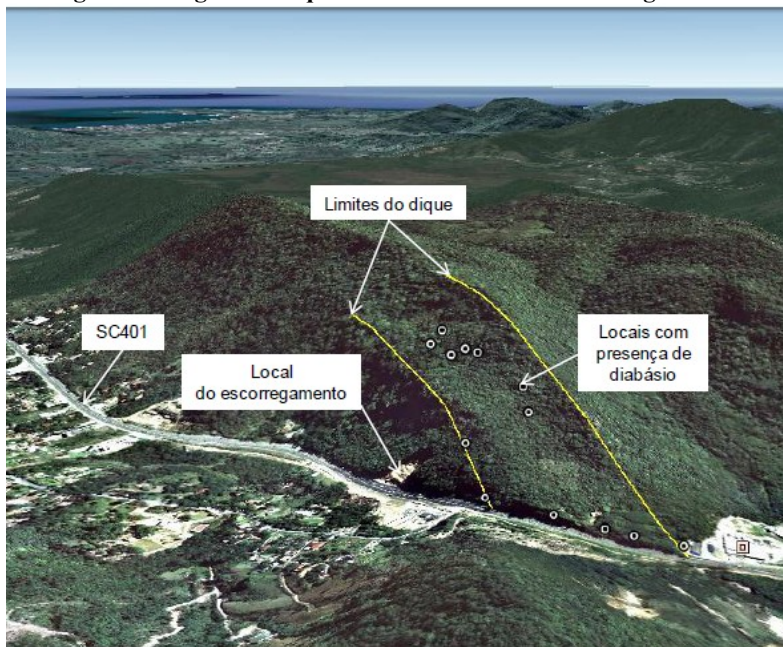
### 3.8.2. O Escorregamento de 2008

Este escorregamento situa-se a margem direita do km 14 da rodovia SC-401, sentido norte, cerca de 300 m adiante do escorregamento supracitado, e sua dinâmica é um pouco diferente do escorregamento anterior. Oliveira et al. (2012) calculam um volume de 26,143,78 m<sup>3</sup> aberto pelo escorregamento, embora um volume maior de solo e rocha tenha sido mobilizado, uma vez que parte destes permaneceram no interior da cavidade.

A geologia do local é composta também pela associação do Granito Ilha a um dique de diabásio, que parte do topo da encosta (em forma de vale) e atravessa a SC401, fazendo parte da mesma intrusão do escorregamento anterior. A pedologia é composta por solo residual de granito, classificado como Podzólico Vermelho-Amarelo.

A Figura 30 apresenta os limites do dique de diabásio identificados por Oliveira et al. (2012).

**Figura 30-Região do dique localizada acima do escorregamento.**



**Fonte: OLIVEIRA et al. (2012).**

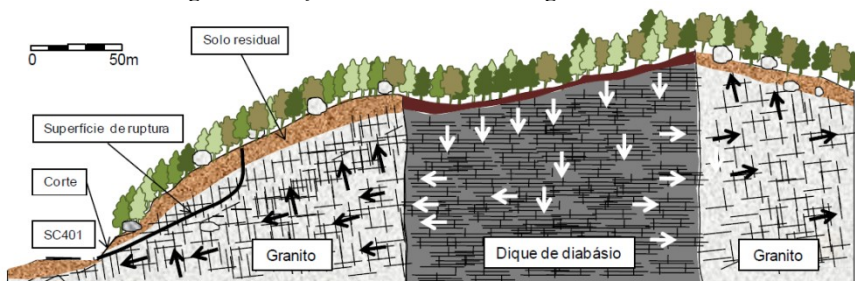


Nos dois meses anteriores ao escorregamento, Florianópolis foi acometida a chuvas acima da curva média de 2000 a 2010, sendo que em 23 de novembro de 2008, dia do escorregamento, os pluviômetros indicaram uma chuva de 160 mm, com 303 mm de chuva acumulados de 20 a 24 de novembro deste ano.

Como resultado desses eventos pluviométricos, Oliveira et al. (2012) levantam a hipótese, baseada em estudos de campo e laboratório, que a água penetrada com mais facilidade no dique de diabásio teve acesso ao maciço do granito. O solo acima do maciço de granito, menos permeável, teria então funcionado como um material confinante da água neste maciço, elevando sua poro-pressão. Resulta-se disso, uma diminuição das tensões normais atuantes nas descontinuidades do granito com consequente diminuição de sua resistência ao cisalhamento, provocando o escorregamento, que mobilizou tanto o solo residual quanto o maciço rochoso.

A Figura 31 apresenta um provável formato para a superfície de ruptura, além de um desenho esquemático do fraturamento do maciço granítico e do dique de diabásio. As setas indicam os possíveis caminhos seguidos pela água nas descontinuidades destes dois maciços.

**Figura 31 Seção da área do escorregamento.**



**Fonte: OLIVEIRA et al. (2012).**

Este escorregamento, com maior proporção do que o anterior, acabou vitimando uma pessoa.

### **3.8.3. Considerações**

Baseado nas análises dos dois escorregamentos, identificam-se três fatores predisponentes a instabilidade do maciço.

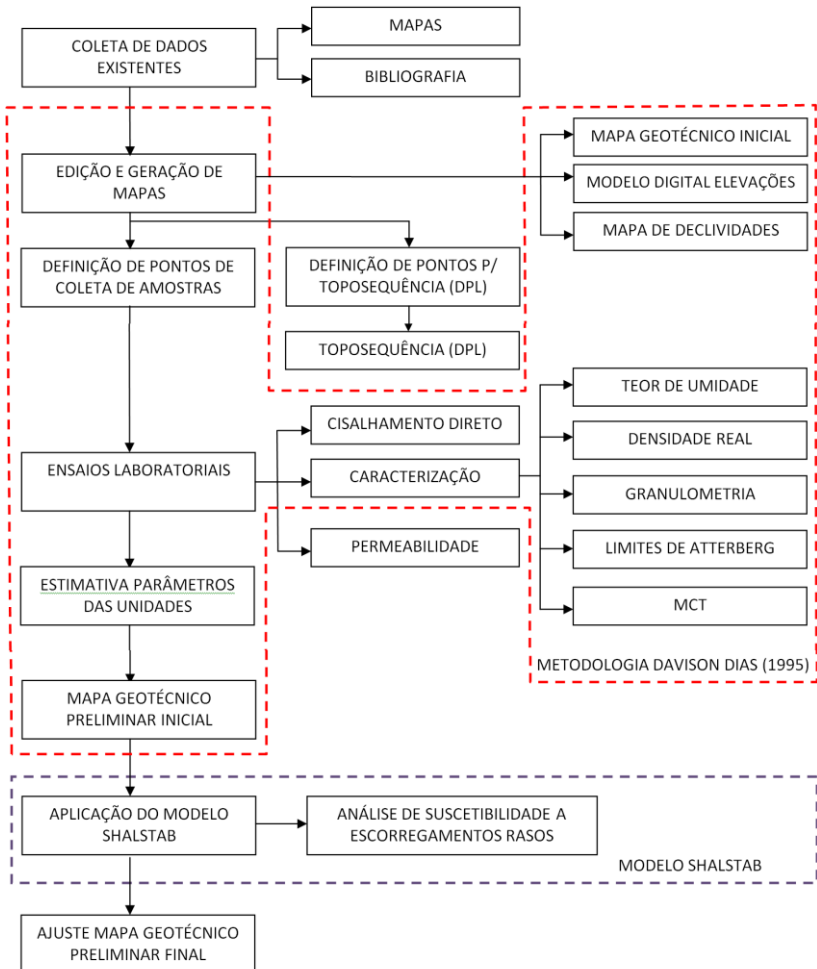
- Corte feito no maciço para a construção da rodovia SC-401 (ação antrópica);

- Presença do dique de diabásio, intensamente fraturado e permeável;
- Grandes declividades das encostas.

Estes, associados a chuva, que é o fator deflagrador, são os principais condicionantes aos movimentos de massa ocorridos na região.

#### 4. METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste estudo é apresenta no diagrama a seguir.



No primeiro item deste capítulo serão descritos os cinco procedimentos práticos da metodologia Davison Dias (1995) de forma geral, adaptados de Guesser (2013). Nos itens subsequentes serão

detalhados cronologicamente cada passo deste trabalho conforme o diagrama apresentado.

Antes da explanação da metodologia deste trabalho, é importante salientar que este é um estudo concomitante à Dissertação de Mestrado do Engenheiro Rodrigo Bim, cuja defesa ocorrerá ainda em 2014. Dessa forma, parte dos processos aqui indicados poderão ser encontrados tanto em sua Qualificação de Dissertação de Mestrado (Bim, 2013) quanto em sua tese (Bim, 2014). Ressalta-se que, embora os procedimentos de coletas de amostras e ensaios laboratoriais sejam os mesmos, toda a análise de resultados é imparcial, uma vez que a finalidade dos trabalhos são diferentes. O estudo do mestrando visa o mapeamento de risco de encostas suscetíveis ao escorregamento sob a ótica das diretrizes para a elaboração do Plano Municipal de Redução de Riscos – PMRR.

#### 4.1. A METODOLOGIA DAVISON DIAS (1995)

##### *Parte I: Levantamento e análise de dados*

O primeiro passo da metodologia requer a obtenção e análise de dados topográficos, pedológicos e geológicos da região de estudo. Em seguida, elabora-se um mapa de declividades da região, de acordo com a classificação da EMBRAPA, 1999, conforme o Quadro 16.

**Quadro 16 Classes de relevo conforme o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**

CLASSES DE RELEVO	DECLIVIDADE (%)
Plano	0 a 3
Suave ondulado	3 a 8
Ondulado	8 a 20
Forte ondulado	20 a 45
Montanhoso	45 a 75
Escarpado	Maior que 75

**Fonte: (modificado de EMBRAPA, 1999).**

Com as declividades, elabora-se um mapa geomorfológico, a fim de discretizar o relevo como plano, suavemente ondulado, ondulado e fortemente ondulado.

##### *Parte II: Elaboração do mapa geotécnico preliminar:*

A segunda parte da metodologia inicia-se com a elaboração do Mapa de Estimativa das Unidades Geotécnicas, através da manipulação de mapas topográficos, pedológicos e geológicos. Para cada unidade

geotécnica, a geologia influencia características dos horizontes saprolíticos (R, RA e C) e a pedologia influencia as características dos horizontes lateríticos (A e B). De acordo com a espessura, os horizontes são classificados da seguinte forma:

**Quadro 17 Identificação de espessura de horizonte.**

<b>Espessura de horizonte (m)</b>	<b>Classificação</b>
0 – 0,30	Sem horizonte (se)
0,30 – 2,00	Pouco Espesso (pe)
2,00 – 5,00	Medianamente Espesso (mde)
5,00 – 10,00	Espesso (e)
> 10,00	Muito Espesso (me)

**Fonte: DAVISON DIAS (2011).**

As unidades geotécnicas serão denominadas por letras maiúsculas e minúsculas “XYZxyz”, sendo as maiúsculas representando a classificação pedológica dos horizontes superficiais (A e B) e as minúsculas representando a classificação geológica dos horizontes C, RA e R. Para a interpretação geológica, deverá ser considerado a litologia dominante. No caso de ocorrer mais de uma litologia dominante, estas devem ser separadas por vírgulas na nomenclatura.

Em seguida, separam-se os solos hidromórficos dos não hidromórficos (sem presença de lençol freático nos horizontes A e B). Em alguns casos, dividem-se os solos residuais dos sedimentares. Nos solos hidromórficos devem ser separadas as unidades situadas próximas aos rios ou lagoas daquelas que ocorrem entre elevações. Nas depressões, devem ser verificados os locais que ocorrem em cotas mais altas, formando micro relevos nas zonas aparentemente planas.

Nas unidades situadas em relevo ondulado, deve-se separar os locais onde o relevo é fortemente ondulado do ondulado e suavemente ondulado e ondulado, pois as variações do relevo e a geologia podem servir como indicadores das unidades geotécnicas.

Deve-se, ainda, indicar no mapa inicial a presença de falhas e fissuras e outros aspectos importantes da estrutura definidas nos mapas geológicos. Depois, estimam-se as características do horizonte C a partir da geologia (mineralogia) e experiência de campo.

Por fim, é importante criar um banco de dados geotécnico da área mapeada, que permite que sejam traçados perfis de solos típicos da região e criados sequências topográficas de ocorrência de solos.

Para a realização da classificação das unidades geotécnicas, devem ser definidos inicialmente o grau de desenvolvimento do horizonte B e não são utilizadas as informações referentes ao horizonte A.

### Parte III: Coleta de amostras e ensaios de campo

A terceira parte desta metodologia consiste na retirada de amostras e identificação de perfis em campo.

Tendo em vista a dificuldade de retirada de amostras em solos tropicais e subtropicais, o método sugere o seguinte procedimento:

- Em solos mais evoluídos realizar a retirada de amostras, até 2.5m de profundidade, através de trincheiras exploratórias para retirada de bloco indeformado.
- Em maiores profundidades procurar escavações recentes. Quando possível retirar blocos indeformados. Em solos tradicionais tipo argila mole retirar com o "Shelby" (não foi o caso desta pesquisa, uma vez que apenas os solos de elevação foram avaliados).
- Quando for difícil a retirada de bloco, e no caso de serem realizados ensaios de resistência no cisalhamento direto e de compressibilidade no ensaio de compressão confinada, moldar diretamente os anéis no local e nas profundidades desejadas.

### Parte IV: Ensaios laboratoriais

A quarta parte desta metodologia abrange a execução de ensaios laboratoriais, como os ensaios de caracterização e resistência dos solos.

Os Ensaios de Caracterização compreendem análise granulométrica, com defloculante, densidade real dos grãos e limites de plasticidade. O método ressalta que é interessante a realização de ensaios químicos e análise mineralógica da fração areia e da fração argila através de difratograma de raios-X (o que não foi feito neste trabalho). Por outro lado, fez-se ensaios de permeabilidade, uma vez que os fenômenos de fluxo de água em solos são aplicados nos estudos de estabilidade geral da massa de solo, pois a tensão efetiva (que comanda a resistência do solo) depende da pressão neutra, que por sua vez, depende das tensões provocadas pela percolação da água.

Para os ensaios de resistência, leva-se em conta que muitos dos solos tropicais são parcialmente saturados e muitas vezes com um coeficiente de permeabilidade relativamente alto (comportamento CD – consolidado drenado). A moldagem das amostras para a realização de ensaios de compressão triaxial para muitos tipos de solos é difícil, por estes motivos tem-se optado sempre, quando possível, por ensaios de

cisalhamento direto devido a maior facilidade de coleta de amostra no campo e moldagem no laboratório. Algumas críticas têm sido feitas devido ao tamanho da amostra ensaiada nos ensaios de cisalhamento direto convencionais. Entretanto, com base neste ensaio podem-se moldar várias amostras, principalmente nos locais de maior fraqueza, os quais podem ser visualizados na retirada de amostra no campo conforme técnicas citadas anteriormente. Desta maneira é possível realizar vários ensaios possibilitando um posterior estudo estatístico para uma maior confiança nos resultados.

*Parte V: Estimativas de parâmetros das unidades geotécnicas e elaboração do mapa geotécnico final*

A última parte desta metodologia consiste na identificação dos parâmetros de solo obtidos através de ensaios laboratoriais e de campo que, somados aos mapas preliminares de geologia e pedologia, formarão o mapa geotécnico final da região de estudo.

#### 4.2. LEVANTAMENTO DE DADOS EXISTENTES

Para a realização deste trabalho fez-se necessária a aquisição de alguns mapas. Os mapas topográfico, hidrográfico, pedológico, geológico e cadastral foram obtidos através do Laboratório de Mapeamento Geotécnico (LAMGEO) da UFSC, nas seguintes escalas indicadas no Quadro 18.

**Quadro 18 Mapas utilizados neste trabalho**

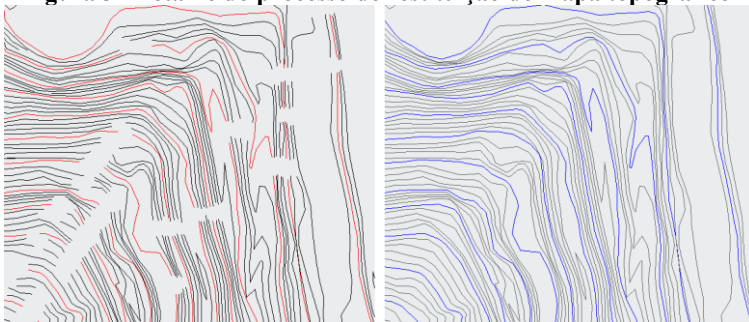
Mapa	Escala	Ano
Cadastral	1:2.000	2007
Hidrografia		
Topográfico		
Pedologia	1:100.000	1997
Geologia/Litologia		

Além disso, utilizou-se de um mapa geotécnico corrigido da região, elaborado por Bim et al. (2012), cujas inconsistências de resultados entre o mapa teórico e a realidade já foram corrigidas, através de análises *in loco* e laboratoriais. Em virtude disso, optou-se pela utilização deste mapa em detrimento dos mapas oficiais na análise de escorregamentos deste trabalho.

#### 4.3. EDIÇÃO DOS MAPAS E INSERÇÃO NO ARCGIS 9.3

Para a elaboração do Modelo Digital de Elevações (MDE), elemento base para toda a análise de escorregamentos pelo modelo SHALSTAB, foi necessária a restituição de todo o mapa topográfico, corrigindo falhas de desenho, como quebra e descontinuidade de linhas, além da correção das cotas de altitude das curvas de nível, dispostas de metro em metro. Todos os objetos (cerca de 200 mil linhas, polilinhas, splines, etc.) foram transformados em 1600 polilinhas contínuas através do programa *AutoCAD*, para que enfim pudessem ser inseridas no software *ArcMap*.

**Figura 32 Detalhe do processo de restituição do mapa topográfico**



Ressalta-se que as curvas de nível foram cortadas numa região estendida 100 metros além das delimitações da área bacia, num processo denominado *buffer*. Este processo tem por finalidade evitar problemas na interpolação que cria o MDE nas bordas do mapa.

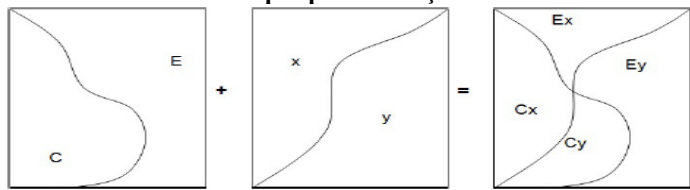
Por fim, todos os mapas foram inseridos no software ArcGIS 9.3, georreferenciados conforme o Datum SIRGAS 2000 / UTM zone 22S.

#### 4.4. ELABORAÇÃO DO MAPA GEOTÉCNICO PRELIMINAR

Para a construção do mapa geotécnico preliminar da Bacia de Santo Antônio de Lisboa, foi-se adotada a metodologia Davison Dias (1995), que emprega a manipulação dos mapas geológicos e pedológicos para a geração do Mapa de Estimativas de Unidades Geotécnicas. O procedimento exemplificado é mostrado na Figura 33.

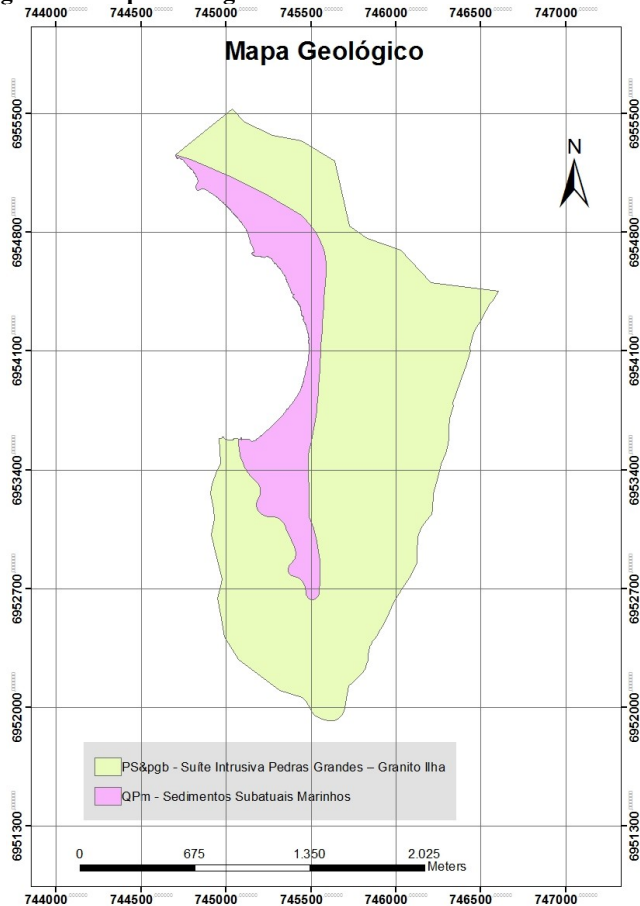


**Figura 33 Cruzamento de mapas para obtenção das Unidades Geotécnicas**



O mapa geológico da bacia de Santo Antonio de Lisboa é apresentado na Figura 34.

**Figura 34 Mapa Geológico da Bacia de Santo Antonio de Lisboa**



**Fonte: Elaborado pelo autor**

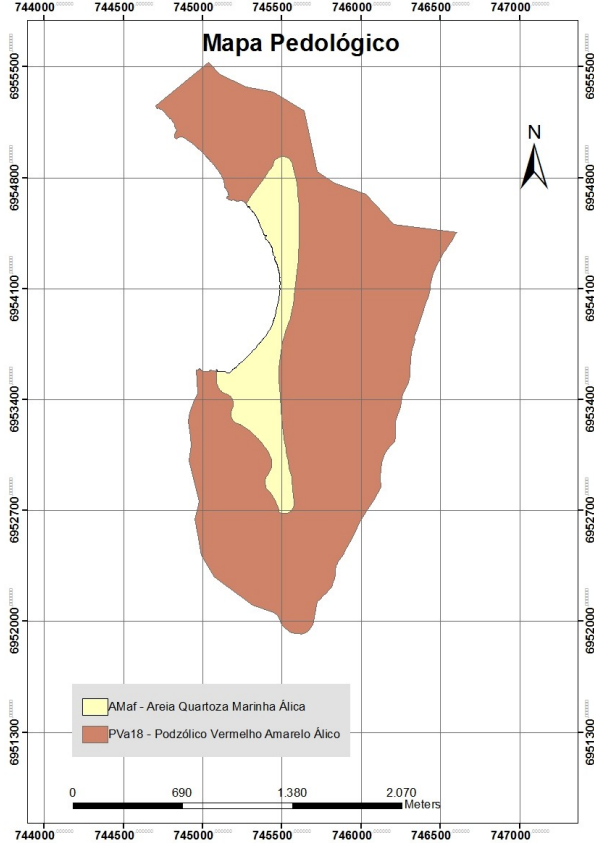
Davison Dias (1995) acrescenta que a nomenclatura levará em conta tanto a procedência pedológica quanto a litológica. A litologia adotada para as classes geológicas da bacia são apresentadas no Quadro 19.

Quadro 19 Litologia em função da geologia.

Sigla	Geologia existente	Litologia adotada	Sigla
PS&pgb	Suíte Intrusiva Pedras Grandes – Granito Ilha	Granito	g
QPm	Sedimentos Subatuais Marinhos	Sedimentos Quaternários	sq

O mapa pedológico da bacia de Santo Antônio de Lisboa é apresentado na Figura 35.

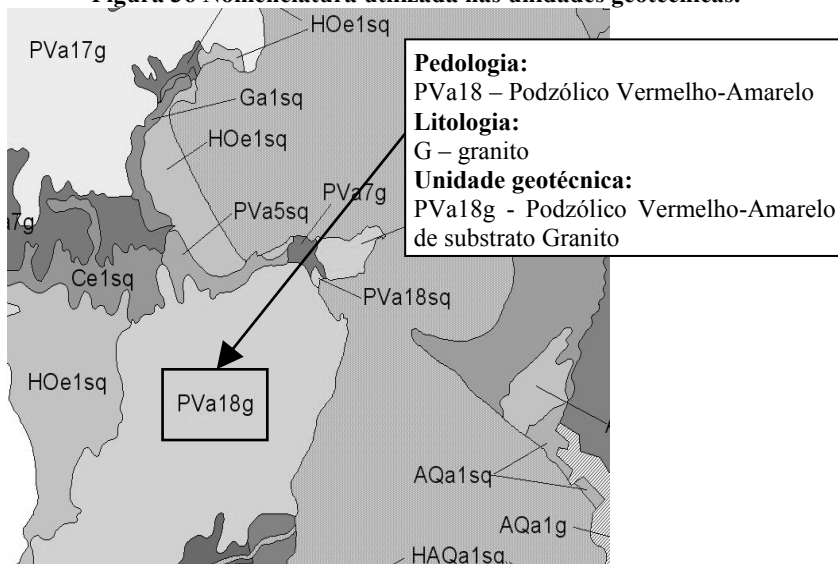
Figura 35 Mapa Pedológico da Bacia de Santo Antonio de Lisboa



Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 36 sintetiza o funcionamento da estimativa das unidades geotécnicas, de acordo com a pedologia e a litologia vigente.

**Figura 36 Nomenclatura utilizada nas unidades geotécnicas.**

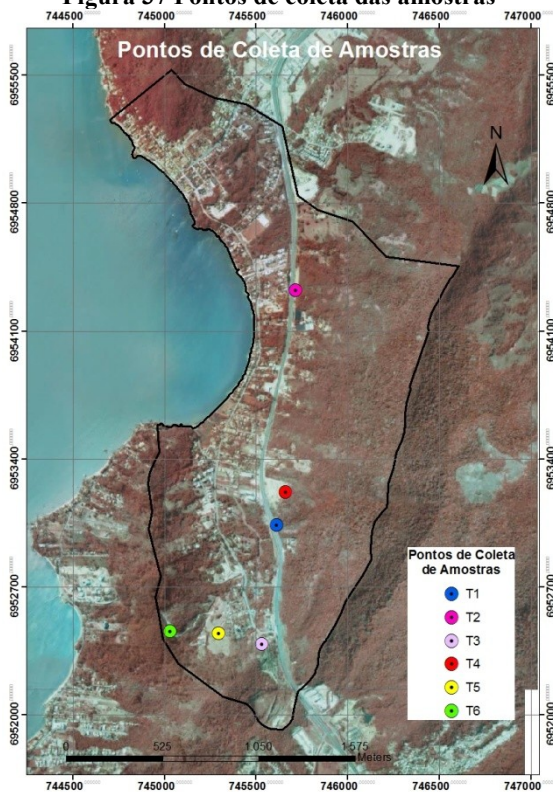


#### 4.5. DEFINIÇÃO DOS PONTOS DE COLETA DE AMOSTRAS

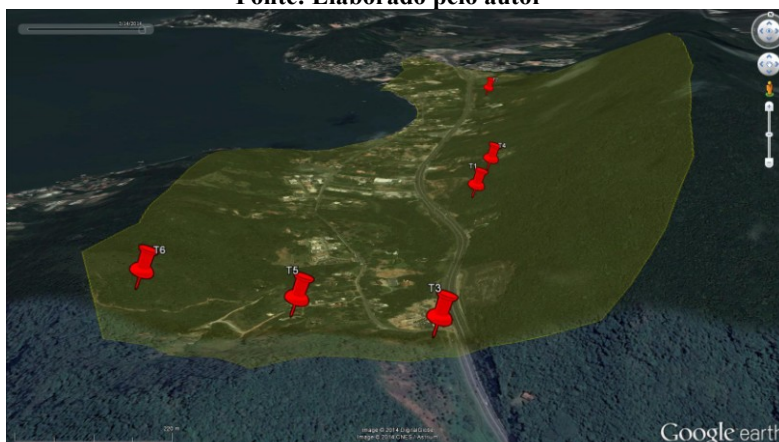
A metodologia proposta por Davison Dias (1995) implica que os solos de mesma unidade geotécnica apresentam comportamento semelhante, ou seja, os resultados obtidos para um ponto de estudo se estender a toda área da unidade geotécnica correspondente. Zuquette e Gandolfi (1987) acrescentam, entretanto, que solos de diferentes elevações, mesmo sob mesma unidade geotécnica, podem apresentar comportamento heterogêneo.

Em virtude disso, as definições dos pontos de coleta deste trabalho levaram em conta, além do mapa geotécnico preliminar, o relevo, a vegetação e a facilidade de acesso, procurando áreas de talude expostos ou locais de trilha traçadas, dada a necessidade de carregar materiais pesados como pás, enxadas, caixas de isopor, etc. Foram coletados também pontos próximos aos locais de ocorrência dos dois escorregamentos de grande porte ocorridos nesta bacia, descritos anteriormente. A Figura 37 identifica os pontos de coleta na bacia, identificados por T1, T2, T3, T4, T5 e T6.

**Figura 37 Pontos de coleta das amostras**



Fonte: Elaborado pelo autor



Fonte: Google Earth

Uma vez que o objetivo final deste trabalho é a análise a escorregamentos rasos da bacia, não foram realizadas coletas nas partes planas da bacia, cuja unidade geotécnica é AQsq. Os dados geotécnicos necessários para a caracterização desta unidade geotécnica foram retirados de Santos (1997).

Em todos os pontos T1 a T6 foram coletadas uma amostra sob a forma de bloco indeformado, para os ensaios de permeabilidade, além de quatro amostras moldadas diretamente nos anéis metálicos biselados usados nos ensaios de resistência ao cisalhamento direto. Todas as amostras foram envoltas em papel filme e transportadas em caixas de isopor, preservando sua integridade e evitando alterações de umidade.

Além disso, em todos os pontos foram retiradas cerca de 3 kg de amostras deformadas para os ensaios de caracterização dos solos, mantidas dentro de sacolas plásticas dentro de caixas de isopor.

Todos os pontos de coleta foram locados com coordenadas UTM através de aparelho GPS. O Quadro 20 aponta as devidas localizações

**Figura 38 Processo de coleta de amostras**



Todos os pontos foram locados com coordenadas UTM através de aparelho GPS. O Quadro 20 aponta as devidas localizações.

**Quadro 20 Coordenadas dos pontos de coleta de amostras**

PONTO	Cota Topografia (m)	Coordenada UTM	
		X	Y
T1	18	745613	6953038
T2	15	745714	6954321
T3	60	745531	6952387
T4	43	745658	6953217
T5	46	745295	6952444
T6	100	745032	6952457

As cotas de altitude aqui apresentadas foram retiradas da sobreposição com o mapa topográfico, e não do aparelho GPS, uma vez que este apresenta uma margem maior de erro.

#### 4.6. DEFINIÇÃO DOS PONTOS PARA TOPOSEQUÊNCIA (DPL)

Foram elaborados o toposequenciamento de dois maciços da região através do Penetrômetro Dinâmico Leve (DPL), em virtude da facilidade de utilização do aparelho por motivos logísticos e técnicos. O DPL tem alta produtividade, pode ser transportado em veículos de passeio e pode ser operado em taludes de difícil acesso, além de não produzir vibrações significantes.

O DPL consiste num equipamento de ensaio de penetração de hastes rosqueáveis no solo, sob a queda padrão de 50 cm de um peso de cravação padrão de 20 Kg. Na planilha de campo registra-se a quantidade de golpes necessários para a penetração de cada 10 cm (N10).

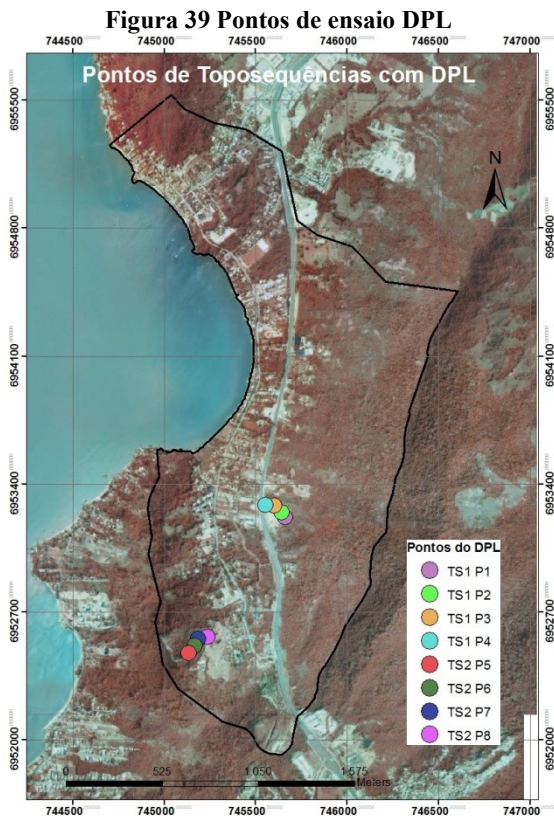
Com isso, as sondagens realizadas com o DPL podem fornecer o perfil estratigráfico dos locais de coleta e o nível freático (NILSSON, 2004), além de permitir uma análise tátil e visual do solo ensaiado.

As sondagens DPL seguiram as disposições das normas alemã (DIN 4094, 1991) e americana (ISSMFE, 1989).

Para a definição dos pontos toposequenciados com uso do DPL buscou-se áreas com elevações que caracterizavam bem a região, preferencialmente trilhadas e/ou abertas, visto que o aparelho DPL, embora portátil, é bastante pesado, dificultando a locomoção do mesmo em mata fechada.



A Figura 39 identifica os pontos onde foram realizadas as toposequências, identificados por TS1 (P1, P2, P3 e P4) e TS2 (P5, P6, P7 e P8).



Fonte: Elaborado pelo autor



Fonte: Google Earth

**Figura 40 Execução do DPL e detalhe das hastes**

Todos os pontos foram locados com coordenadas UTM através de aparelho GPS. O Quadro 21 aponta as devidas localizações.

**Quadro 21 Coordenadas dos pontos de ensaio DPL**

DPL	PONTO	Cota Topografia (m)	Coordenada UTM	
			X	Y
TS1	P1	43	745658	6953217
	P2	34	745642	6953243
	P3	19	745603	6953280
	P4	11	745553	6953286
TS2	P5	56	745132	6952477
	P6	42	745167	6952517
	P7	32	745186	6952551
	P8	14	745235	6952563

As cotas de altitude aqui apresentadas foram retiradas da sobreposição com o mapa topográfico, e não do aparelho GPS, uma vez que este apresenta uma margem maior de erro.

Neste estudo estavam previstas outras toposequências, a fim de buscar uma melhor caracterização da bacia como um todo. Entretanto, a quebra do aparelho em duas ocasiões diferentes não permitiu que essa tarefa fosse executada a tempo da conclusão deste trabalho.



**Figura 41 Detalhe do aparelho DPL quebrado.**



#### **4.7. EXECUÇÃO DE ENSAIOS LABORATORIAIS**

Após as coletas das amostras nos taludes definidos anteriormente, foram realizados os ensaios de laboratório.

##### **4.7.1. Ensaios de Caracterização**

###### **a) Teor de Umidade Natural**

O teor de umidade natural dos seis pontos coletados foram determinados pelo método da estufa, conforme a NBR 6457/86.

###### **b) Granulometria**

Os ensaios de granulometria foram realizados em conformidade com a norma NBR 7181/84. Desta forma, foram realizados o peneiramento grosso com lavagem na peneira #10, a sedimentação do material passante na #10 e o posterior peneiramento fino com lavagem na peneira #200.

A nomenclatura dos grãos, segundo seus diâmetros, seguiram a escala granulométrica da NBR 6502/95.

**Tabela Escala granulométrica.**

<b>Classificação</b>	<b>Diâmetro dos Grãos</b>
Argila	$< 0,002 \text{ mm}$
Silte	$0,002 < x < 0,06 \text{ mm}$
Areia	$0,06 < x < 2,0 \text{ mm}$
Pedregulho	$2,0 < x < 60,0 \text{ mm}$

**Fonte: NBR 6502/95.**

### **c) Massa Específica Real dos Grãos**

Este ensaio, baseado na NBR 6508/84, consiste na determinação do peso seco de uma amostra (passante na peneira 4,8 mm) através de simples pesagem seguida pela determinação volumétrica, utilizando o princípio de Arquimedes. Neste ensaio, foram utilizados ensaios em pares de picnômetros com volume de 500 ml, adotando-se a média entre os valores. Foram determinadas, ainda, a massa específica das amostras passante na peneira 2 mm, a ser utilizada nos cálculos de análise granulométrica.

### **d) Índice de Plasticidade (IP)**

Para a determinação do Índice de Plasticidade (IP) de um solo é necessário, primeiro, a determinação do Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP), aqui obtidos com base nas normas NBR 6459/84 e NBR 7180/84, respectivamente.

O Índice de Plasticidade (IP) é dado pela diferença numérica entre esses dois limites. Expresso em porcentagem, o Índice de Plasticidade (IP) pode ser interpretado como a quantidade máxima de água que pode ser adicionada a uma amostra, a partir do seu Limite de Plasticidade, de forma que a mesma mantenha sua consistência plástica.

As argilas podem caracterizar-se da seguinte forma, tendo como base o IP:

Fracamente plásticas	$1 < IP < 7$
Medianamente plásticas	$7 < IP < 15$
Altamente plásticas	$IP > 15$

### **e) Classificação MCT – Método expedito das pastilhas**

A classificação MCT dos solos foi feita através do método expedito das pastilhas, que utiliza um gráfico com o valor da contração

diametral versus penetração para a caracterização do solo. A seguir são mais bem descritos os passos para a realização deste ensaio:

- Faz-se uma secagem da amostra de solo a ser ensaiada, ao ar livre ou em estufa com no máximo 60°C, até atingir a umidade higroscópica.

- Faz-se um peneiramento em peneira # 40 (0,425 mm), podendo ser destorroado em almofariz com mão de gral protegida por borracha.

- Espatula-se aproximadamente 50cm<sup>3</sup> do solo sobre uma placa de vidro. Depois adiciona-se água destilada à massa de solo até que esta apresente consistência, medida com penetrômetro padrão de 1,3mm de diâmetro e 10g de peso, equivalente à penetração de 1mm do penetrômetro. A espatulação deve ser repetida por aproximadamente 400 vezes.

- Atendida a penetração especificada acima, são confeccionadas as pastilhas, moldadas em 3 anéis de aço inox de 20 mm de diâmetro interno e 5 mm de altura, utilizando-se os dedos e um fio de nylon fino para rasamento da superfície da pastilha. Leva-se para a estufa a 60°C por no mínimo 6 horas ou deixa-se secar ao ar até atingir a umidade higroscópica. São moldadas, ainda, duas esferas com diâmetro aproximado de 20 mm, e levadas para a estufa (ou deixa-se secar) junto com as pastilhas.

- Após a secagem, as pastilhas e as esferas são deixadas esfriar por após 10 minutos. Determina-se a contração anotando-se o diâmetro médio de 3 medições defasadas entre si de 120° das pastilhas com o auxílio de um paquímetro.

- A reabsorção da água é feita colocando-se a pastilha sobre uma placa de pedra porosa de 5mm de altura recoberta por papel filtro. Deve-se anotar o tempo de ascensão da água na pastilha através da mudança de cor da mesma.

- Após 2 horas de reabsorção de água através de pedra porosa, as pastilhas são avaliadas segundo a expansão, trincas e penetrações. São feitas observações sobre o aspecto da expansão e trincas surgidas de forma visual. As penetrações são feitas com o penetrômetro padrão.

- Uma das esferas é imersa em um recipiente com cerca de 50 ml de água destilada para avaliação da sua interação com esse meio. O tempo necessário e suficiente para esta interação é de no máximo 2 horas e o produto final pode ser pastas (siltes), partículas (areias), blocos de alguns milímetros ou esferas que não se alteram, conforme a granulometria e os argilominerais constituintes no solo.

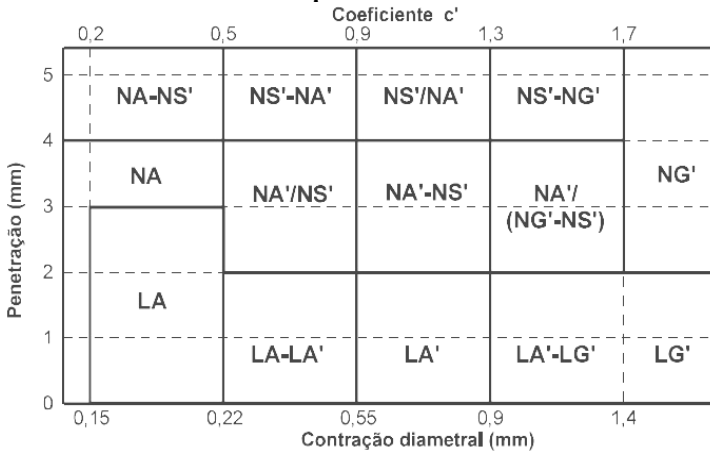
- A segunda esfera é submetida ao ensaio de esmagamento. A resistência ao esmagamento avalia a coesão a seco da esfera de solo a

partir da tentativa de quebra da mesma entre os dedos polegar e indicador, e entre os dedos polegar e uma superfície plana dura. O ensaio de esmagamento é subjetivo porque varia de acordo com a força do operador.

Os dados são lançados em uma planilha para o cálculo dos parâmetros de classificação da amostra: diâmetro médio após secagem (mm), tempo médio de reabsorção (s), penetração média (mm), característica do esmagamento da esfera, tempo de reabsorção e aspecto da esfera após reabsorção.

Os valores obtidos das amostras e da penetração do mini-penetrômetro nas pastilhas foram inseridos no gráfico apresentado por Nogami e Villibor (1994 e 1996), apresentado na Figura 42:

**Figura 42 Gráfico para a determinação expedita MCT pelo método das pastilhas**



- Separa opção equivalente  
/ Separa opção decrescente

Fonte: (NOGAMI e VILLIBOR, 1994 e 1996).

Onde:

- LG'** Argilas lateríticas e argilas lateríticas arenosas
- LA'** Areias argilosas lateríticas
- LA** Areias com pouca argila laterítica
- NG'** Argilas, argilas siltosas e argilas arenosas não-lateríticas
- NS'** Siltes cauliniticos e micáceos, siltes arenosos e siltes argilosos não-lateríticos
- NA'** Areias siltosas e areias argilosas não-lateríticas
- NA** Areias siltosas com siltes quartzosos e siltes argilosos não-lateríticos

O uso do ensaio expedito de MCT através do método das pastilhas é recente no estado de Santa Catarina, com poucos trabalhos apresentados. Apesar disso, são apresentados alguns resultados obtidos até então, para fins de comparação com os valores alcançados por este trabalho:

**Tabela 1 Ensaio MCT para alguns solos de Santa Catarina.**

<b>Localidade</b>	<b>Prof. de coleta (m)</b>	<b>Tipo de solo</b>	<b>Classificação MCT</b>
<b>Tubarão<sup>1</sup></b>	3	Horiz. C de granito argiloso	NS'NA'
	5,5	Horiz. C de granito arenoso	NG'
	0,5	Horiz. C de granito coluv. areno-siltoso	NS'-NA'
	2	Horiz. B de granito argilo-siltoso	NG'
	2	Horiz. C de granito arenoso	NA-NS'
	2,5	Horiz. C de granito arenoso	NG'
	2	Horiz. C de granito silto-arenoso	NA-NS'
	2	Horiz. C de granito argiloso	NG'
	3	Horiz. C de granito silto-argiloso	NS'-NA'
<b>Laguna<sup>2</sup></b>	3,5	Horiz. C de granito arenoso	NA-NS'
	0,5	Horiz. B de granito argiloso	LG'
	2	Horiz. C de granito arenoso	NA-NS'
	1,5	Horiz. C de granito argiloso	NG'
	1	Horiz. C de granito argiloso	NG'
<b>Capivari de Baixo<sup>3</sup></b>	1,5	Horiz. C de granito silto-arenoso	NS-NG'
	1	Horiz. C de granito silto-arenoso	NS'-NA'
	1	Horiz. C de granito silto-arenoso	NS'/NA'
	1,5	Horiz. C de granito argiloso	NS'-NG'
<b>Florianópolis<sup>4</sup></b>	0,5	Areia Quartzosa Podzolizada	NS'-NA'
	2	Horiz. C de granito argilo-arenoso	LG'
<b>São Francisco do Sul<sup>5</sup></b>	2	Horiz. C de granulito	NS'-NA'
	1	Horiz. C de granulito	NS'-NA'
<b>Ipumirim<sup>6</sup></b>	1,5	Horiz. B de basalto	LG'
<b>Nota: 1- Higashi (2006); 2-Heidemann et al. (2007); 3-Higashi et al. (2004); 4-Higashi et al. (2003); 5-Higashi e Figueiredo (2003); 6-Higashi e Spricigo (2003).</b>			

**Fonte: Rosniecek e Imai (2013).**

#### **4.7.2. Ensaio de Cisalhamento Direto**

O ensaio de cisalhamento direto tem por objetivo determinar a tensão cisalhante capaz de provocar a ruptura de uma amostra de solo

para a aplicação de estruturas de engenharia, estabilidade de encostas, dentre outras. Este ensaio é baseado no critério estabelecido por Mohr-Coulomb, e, neste trabalho, foi executado de acordo com a norma ASTM D3080.

O ensaio de cisalhamento direto normalmente é realizado na condição CD (consolidado drenado), que implica na total dissipação de poro-pressões durante o cisalhamento. Nas areias, devido a alta permeabilidade, isso ocorre de forma automática; em solos argilosos, entretanto, é necessário reduzir a velocidade de deformação para aumentar o tempo de ensaio.

Este ensaio é dividido em dois estágios:

- “C” Consolidação – um corpo de prova é consolidado com base em cargas normais;
- “R” Ruptura em condições drenadas – aplicar tensões no corpo de prova até sua ruptura.

#### *4.7.2.1.Procedimento*

##### **a) Preparação da amostra**

Para a realização do ensaio acomoda-se uma amostra de solo em um molde metálico bipartido retangular. O conjunto molde + solo é então pesado e, com as aparadas da moldagem faz-se os demais ensaios de caracterização. Utilizou-se, neste trabalho, um molde metálico de 10,16 x 10,16 x 2,0 cm.

Após estes procedimentos, a amostra é posicionada na prensa de cisalhamento direto e inundada. Utiliza-se o termo inundação por representar mais a realidade no caso de solos tropicais e subtropicais, devido à saturação dos corpos de provas ser muito difícil sem uma contrapressão da água (HIGASHI, 2006).

##### **b) 1º Estágio: Consolidação (C)**

A fase de consolidação do corpo de prova remete a aplicação de cargas normais “N” em condições drenadas, ou seja, permitindo a saída da água. Deve-se aguardar o fim de toda a compressão causada pelo carregamento normal para, então, proceder ao 2º estágio após a estabilização do volume.

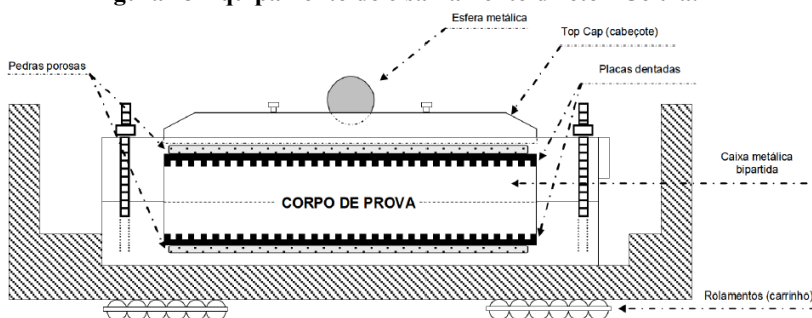
Para este estudo foram utilizadas as tensões normais de consolidação de 33 kgf, 88 kgf e 138 kgf.

### c) 2º Estágio: Cisalhamento

Após a fase de consolidação, procede-se o cisalhamento. Nesta etapa, aplica-se uma força cisalhante “T” no molde metálico bipartido, que desliza a parte inferior da caixa, como pode ser observado na Figura 43 e

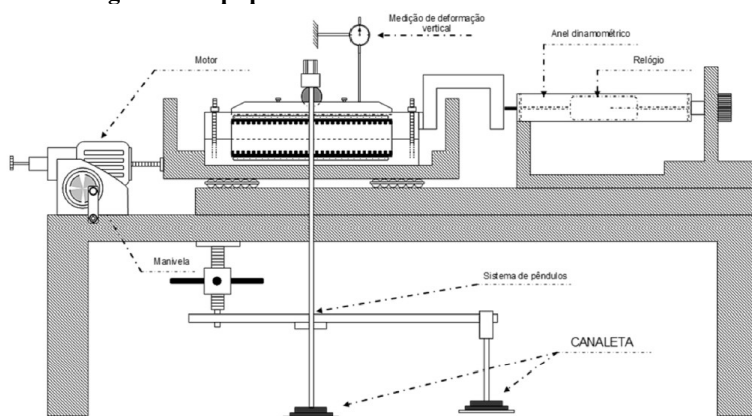
Figura 44.

**Figura 43 Equipamento de cisalhamento direto - Célula.**



Fonte: GUESSER, 2013.

**Figura 44 Equipamento de cisalhamento direto - Prensa**



(NOTA: os equipamentos foram desenhados fora de escala para acentuar alguns detalhes)

Fonte: GUESSER, 2013.

Este 2º estágio não mensura as pressões neutras desenvolvidas ao longo do cisalhamento, então, a velocidade de rompimento do corpo de

prova é condicionada ao tipo de solo ensaiado. Assim, em solos argilosos, de baixa permeabilidade, a velocidade utilizada deve ser mais lenta que nos ensaios de solos arenosos, de alta permeabilidade.

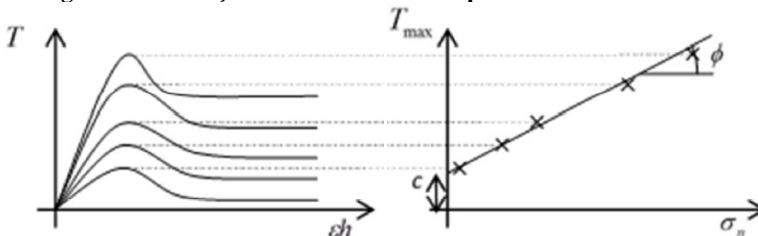
O principal problema no ensaio de cisalhamento direto é a imposição de uma superfície de ruptura, principalmente em solos homogêneos, pois o solo não rompe no ponto de maior fraqueza, mas ao longo do plano horizontal XX. Por isso, a confiabilidade dos resultados ficam condicionadas à amostragem e moldagem do solo em análise.

Podem ser realizados ensaios de cisalhamento direto com tensão ou deformação controlada. Neste trabalho foram adotados ensaios com deformação controlada.

#### 4.7.2.2. Resultados do ensaio

No ensaio de cisalhamento direto, a aplicação das forças cisalhantes impõem um deslocamento horizontal ( $\Delta l$ ) à amostra até a ruptura do corpo de prova. Para cada tensão normal “N” aplicada, se obtém um valor de tensão cisalhante de ruptura, permitindo a determinação do ângulo de atrito interno ( $\phi$ ) e da coesão ( $c'$ ) das amostras de solo, obtendo-se o traçado da envoltória de resistência. A figura Figura 45 a seguir ilustra como é possível se fazer essa determinação, através dos gráficos de tensão versus deformação horizontal, e tensão cisalhante máxima versus tensão normal.

**Figura 45 Obtenção da envoltória de ruptura de Mohr-Coulomb.**



Fonte: GUESSER, 2013.

Além disso, esse ensaio permite a construção do gráfico deformação vertical versus deformação horizontal.

É importante, ainda, salientar algumas considerações acerca do critério de Mohr-Coulomb:

- A parcela de resistência devido á coesão independe da pressão normal;



- A capacidade de resistência de um solo é a resistência deste solo, ou seja, a máxima tensão cisalhante a qual o solo resiste.

As vantagens da realização do ensaio de cisalhamento direto, em detrimento a realização de outros ensaios são:

- Simplicidade e praticidade do ensaio;
- Facilidade de moldagem das amostras;
- Rapidez de execução, podendo-se realizar um maior número de ensaios em menor tempo;
- Ensaio relativamente rápido.

#### **4.7.3. Ensaio de Permeabilidade**

A permeabilidade é a propriedade que o solo apresenta de permitir o escoamento de água através dele. Todos os solos são mais ou menos impermeáveis. Neste trabalho, realizou-se ensaios de permeabilidade à carga hidráulica variável para a obtenção dos parâmetros de condutividade hidráulica ( $k$ ) dos solos, seguindo-se o método B da NBR 14545/2000.

Para a realização dos ensaios de permeabilidade foram talhadas as amostras indeformadas coletadas em campo, de modo a ficarem com dimensões próximas a 10 cm de altura por 10 cm de diâmetro. Em seguida, as amostras são alocadas dentro de um permeâmetro, vedadas lateralmente com argila plástica (bentonita) de modo que o fluxo de água percole através da amostra. Deve-se evitar a todo custo a presença de “caminhos preferenciais”, uma vez que isso prejudica diretamente o resultado do ensaio. Nos ensaios foi utilizado fluxo ascendente de água da torneira.

A Figura 46 demonstra a preparação da amostra e realização do ensaio.

**Figura 46** Preparação e execução do ensaio de permeabilidade



#### 4.8. APLICAÇÃO DO MODELO SHALSTAB

Neste estudo foi empregado o modelo SHALSTAB (Shallow Slope Stability Model) para a verificação da estabilidade das encostas da Bacia de Santo Antônio de Lisboa, através do software ArcMap. Este modelo, entretanto, apresenta algumas limitações.

A primeira das limitações trata-se da extrapolação dos parâmetros geotécnicos para toda a área analisada, ou seja, o solo de toda a unidade geotécnica será representado por um único parâmetro de coesão, ângulo de atrito interno e de peso específico.

Para alterar essa limitação, utilizou-se, neste trabalho, o Modelo SHALSTAB modificado por Michel (2013), que incluiu duas novas variáveis na equação do modelo: coesão de raízes ( $C_r$ ) e peso de vegetação ( $S_w$ ), baseados nas análises de sensibilidade destes fatores no cálculo do fator de segurança “FS” das encostas. Essa alteração tornou

possível espacializar os parâmetros geotécnicos em função das respectivas unidades geotécnicas encontradas na bacia de estudo.

Para a inserção destes novos parâmetros, o algoritmo foi reescrito de forma que a equação final ficasse da maneira apresentada na equação (10).

$$\frac{Q}{T} = \frac{\sin\theta}{a/b} \left[ \left( \frac{\rho_s}{\rho_w} + \frac{S_w}{\rho_w \cdot g \cdot z \cdot \cos\theta} \right) \left( 1 - \frac{\tan\theta}{\tan\phi} \right) + \frac{C_r + C_s}{g \cdot z \cdot \cos^2\theta \cdot \tan\phi \cdot \rho_w} \right] \quad (10)$$

Para esta pesquisa, o valor das duas variáveis adicionais foi retirado de WU et al. (1979 apud Tabalita e Fiori, 2008). Michel (2013) aponta que a coesão das raízes só tem influência significativa até no máximo 4 m de profundidade, portanto, utilizaremos o valor adotado somente para o cenário de escorregamento até os 4 m, tomando o valor nulo nos demais cenários (5 m e 7 m). O Quadro 22 apresenta os valores adotados nos 6 parâmetros de entrada do programa para cada unidade geotécnica.

**Quadro 22 Parâmetros de entrada do modelo SHALSTAB.**

	Simbologia	Nome do layer no ArcMap	PVg	AQsq*	Unidade
<b>Coesão do solo</b>	C <sub>S</sub>	cs	9340	0	Pa
<b>Ângulo de Atrito</b>	Ø	f	35	27	Graus
<b>Peso Específico Natural</b>	Y <sub>NAT</sub>	rs**	1740	1480	kg/m <sup>3</sup>
<b>Peso Específico Saturado</b>	Y <sub>SAT</sub>	rs**	1890	1885	kg/m <sup>3</sup>
<b>Coesão de Raízes</b>	C <sub>r</sub>	cr	0-5900	0-5900	Pa
<b>Peso de Vegetação</b>	S <sub>w</sub>	w	5200	5200	kg/m <sup>2</sup>
<b>Profundidade</b>	Z	z	2, 3, 4, 5 e 7		m

NOTA (\*): Valores retirados de Santos (1997).

NOTA (\*\*): Aplicados separadamente, ou seja, um cenário com Y<sub>nat</sub> e outro com Y<sub>sat</sub>.

Com isso, gerou-se 10 cenários diferentes, variando a profundidade ( $z$ ), o peso específico utilizado (natural ou saturado) e a coesão de raízes ( $C_r$ ).

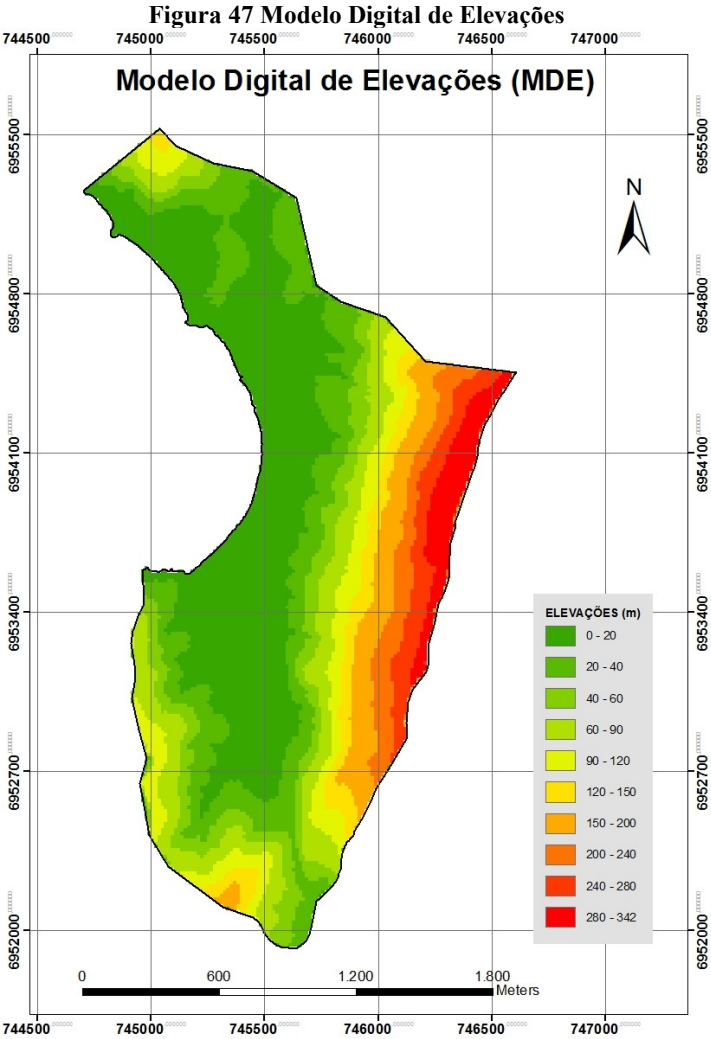
Todos os parâmetros de entrada na verdade são representados graficamente, tendo como base o mapa geotécnico, onde cada unidade geotécnica é renomeada com os valores em questão.

Em sequência, faz-se necessária a elaboração de alguns mapas temáticos, a fim de se aplicar o modelo SHALSTAB. Estes mapas serão descritos a seguir.

#### **4.8.1. Modelo Digital de Elevações – MDE**

O Modelo Digital de Elevações (MDE) é uma demonstração matemática da distribuição espacial que representa graficamente o relevo da superfície terrestre. Ele é chamado de Modelo Digital do Terreno quando utiliza outras feições que não apenas as elevações, o que não foi o caso deste trabalho.

O MDE foi criado através da ferramenta de interpolação *topo to raster* do *software ArcMap*, usando-se o mapa de curvas de nível corrigido anteriormente. A Figura 47 apresenta o MDE da Bacia de Santo Antônio de Lisboa.



Fonte: Elaborado pelo autor

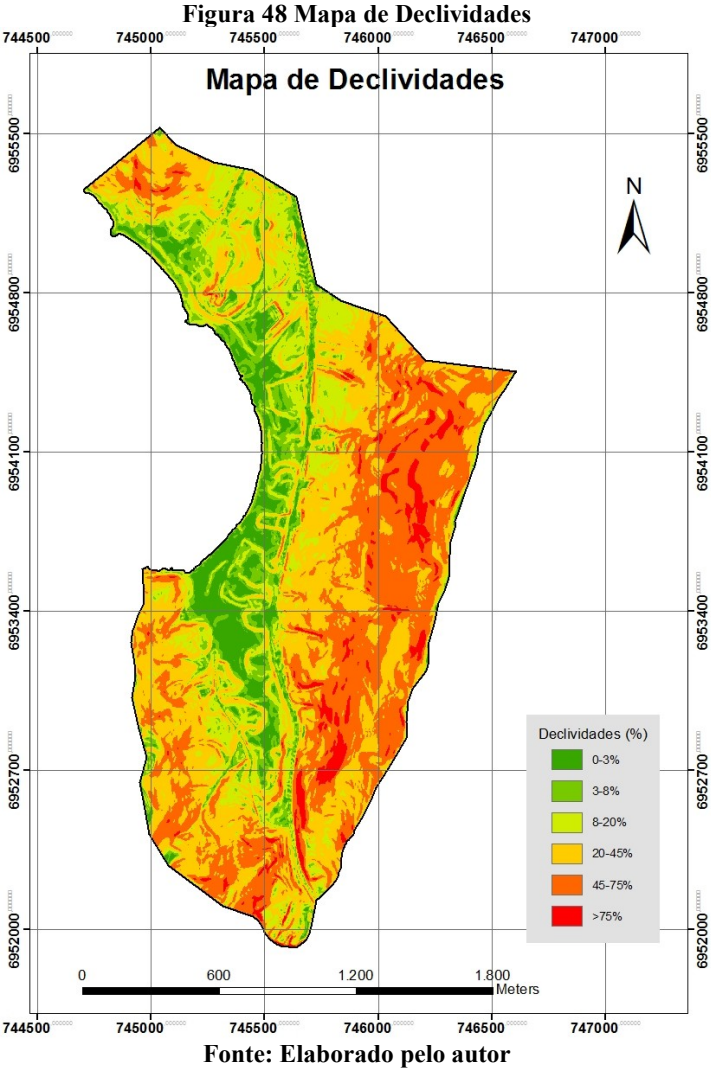
#### 4.8.2. Mapa de Declividades

O mapa de declividades foi obtido através da ferramenta *slope*, no menu *raster surface* do *software ArcMap*, tendo como base o MDE gerado anteriormente. As classes de relevo foram baseadas no Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos da EMBRAPA, que é comparável às declividades utilizadas pela metodologia Davison Dias (1995).

**Quadro 23 Classes de relevo segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos.**

<b>Classes de Relevo</b>	<b>Declividade (%)</b>
Plano	0 a 3
Suave ondulado	3 a 8
Ondulado	8 a 20
Forte ondulado	20 a 45
Montanhoso	45 a 75
Escarpado	Maior que 75

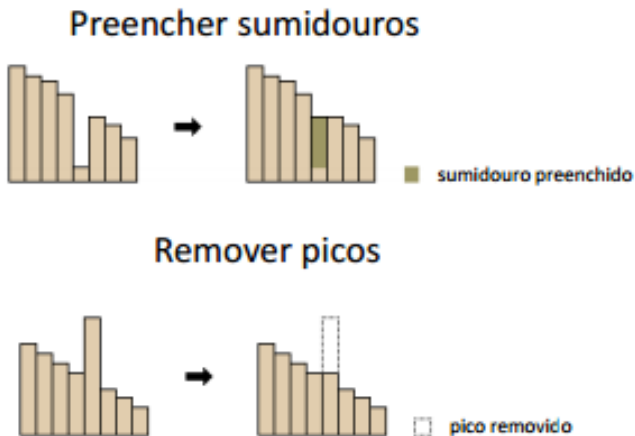
**Fonte: EMBRAPA, 1999.**



### 4.8.3. Mapa de Sumidouros

O mapa de sumidouro regulariza as grandes imperfeições do MDE, corrigindo a presença de picos e sumidouros que podem afetar a análise de distribuição do fluxo d'água. A Figura 49 sintetiza esse procedimento de correção.

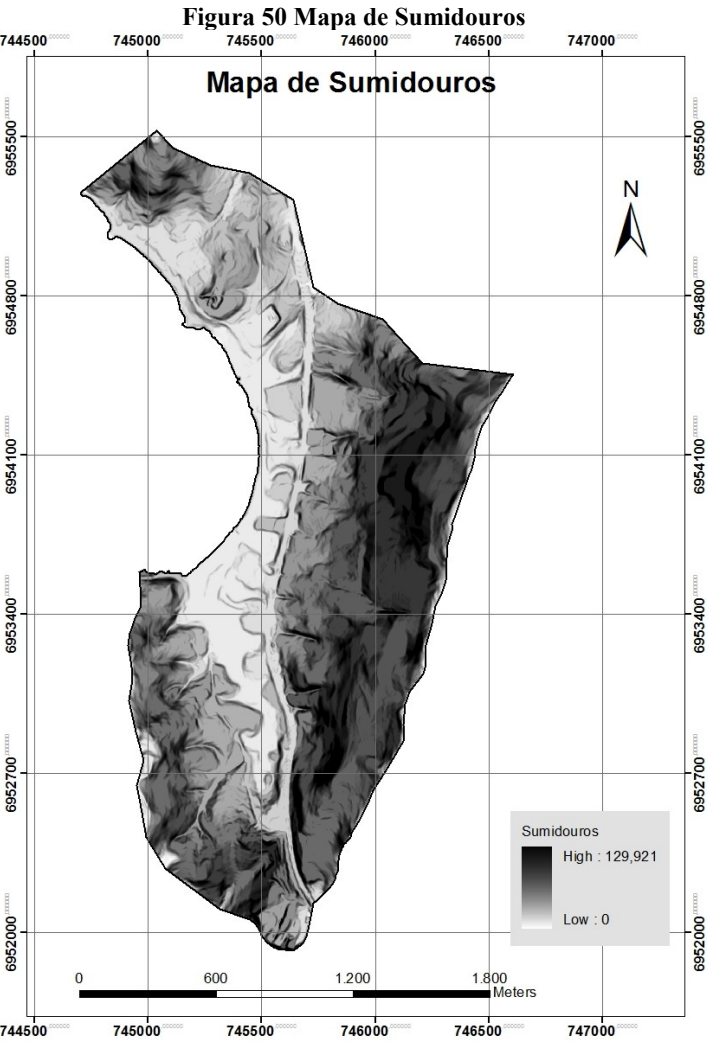
**Figura 49 Tratamento de picos e sumidouros.**



**Fonte: Bortoloti, 2014.**

O mapa de sumidouro foi obtido através da ferramenta *Fill*, no menu *Hidrology* do software *ArcMap*, tendo como base o MDE.

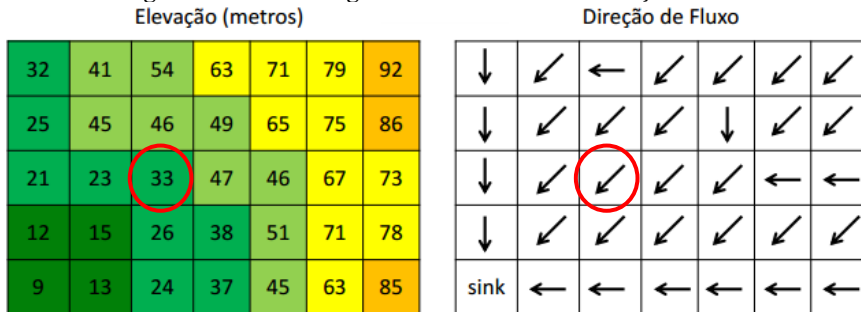




#### 4.8.4. Mapa de Direções de Fluxos

O mapa de direções de fluxo representa a direção do escoamento da água, analisada segundo a elevação das células vizinhas do MDE. A Figura 51 sintetiza a forma como cada célula é analisada.

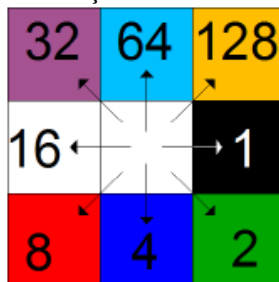
**Figura 51 Fluxo da água de acordo com as elevações**



Basicamente, o programa analisa cada célula separadamente, identificando qual a célula vizinha que apresenta menor elevação. O fluxo de água adotado será em direção à célula adjacente de menor altitude. Na Figura 51, a célula de elevação 33 metros tem direção de fluxo sudoeste, uma vez que a célula vizinha de menor elevação é a de 15 metros.

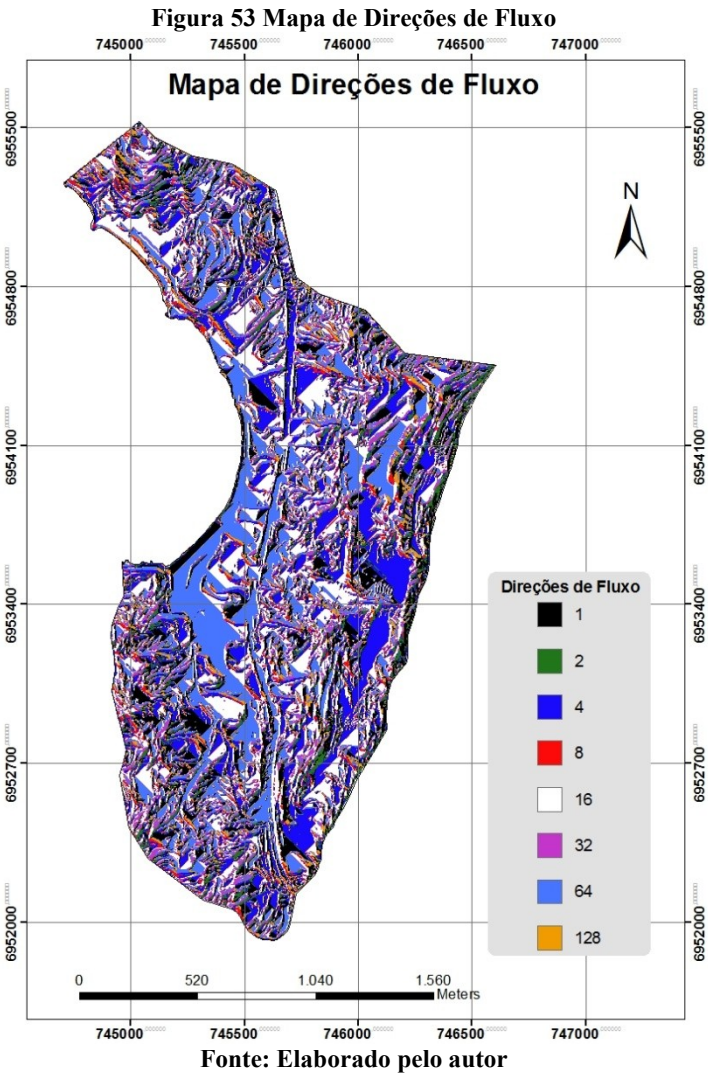
O mapa, entretanto, não utiliza as flechas apresentadas acima, adotando cores que representam cada uma das oito direções possíveis. A Figura 52 apresenta um modelo identificando a direção de fluxo que cada cor corresponde no mapa elaborado.

**Figura 52 Vetores de direção de fluxo conforme a cor e valor.**



Fonte: Bortoloti, 2014.

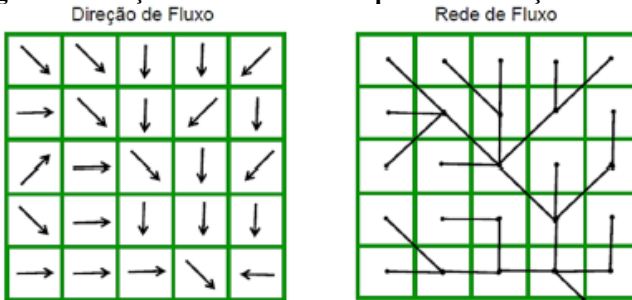
No *ArcMap*, tendo como base o mapa de sumidouros, utiliza-se a ferramenta *flow direction* do menu *hidrology* para a obtenção deste mapa.



#### 4.8.5. Mapa de Contribuição

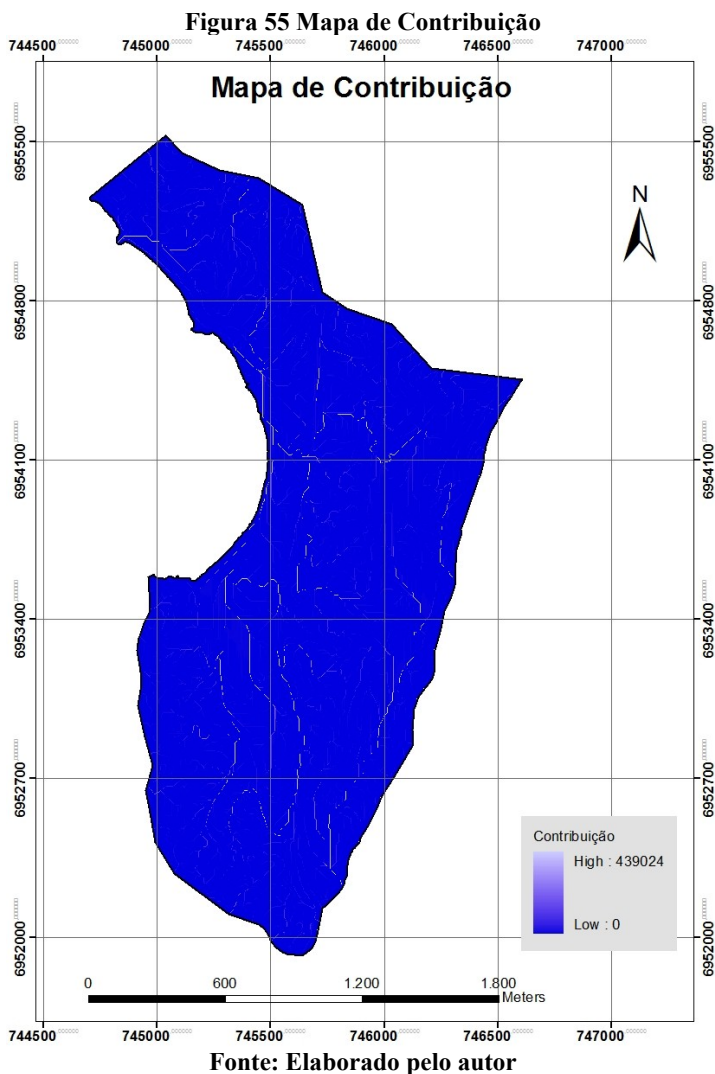
O mapa de área de contribuição visa capturar o efeito da topografia no fluxo de água da bacia, o que estabelece forte correlação com a rede de drenagem da bacia. Ele consiste na criação de uma superfície de acúmulo de fluxo a partir das direções de fluxo. Este mapa representa o parâmetro  $(a/b)$  da equação combinada dos modelos de Estabilidade e Encosta Infinita e Hidrológico de Estado Uniforme.

**Figura 54 Criação de rede de fluxo a partir das direções de fluxo.**



Fonte: Guessier, 2013.

Para a elaboração do mapa de contribuição, utiliza-se o mapa de direções de fluxo, aplicando-se a ferramenta *flow accumulation*, no menu *hydrology* do *software ArcMap*.

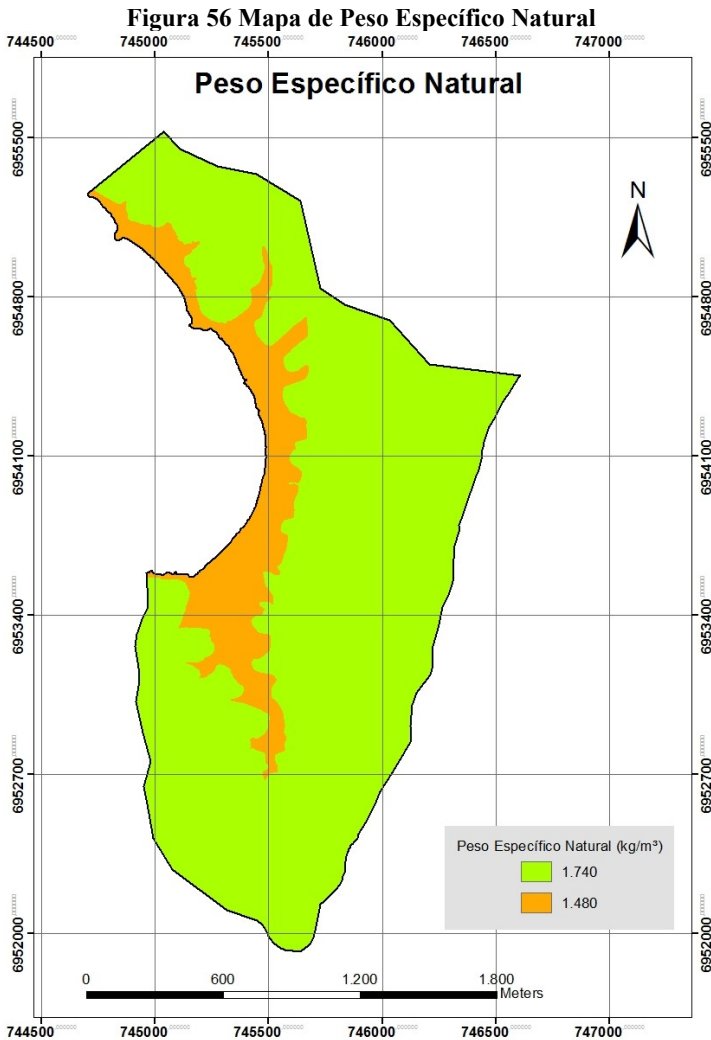


#### 4.8.6. Mapas dos Parâmetros Físicos dos Solos

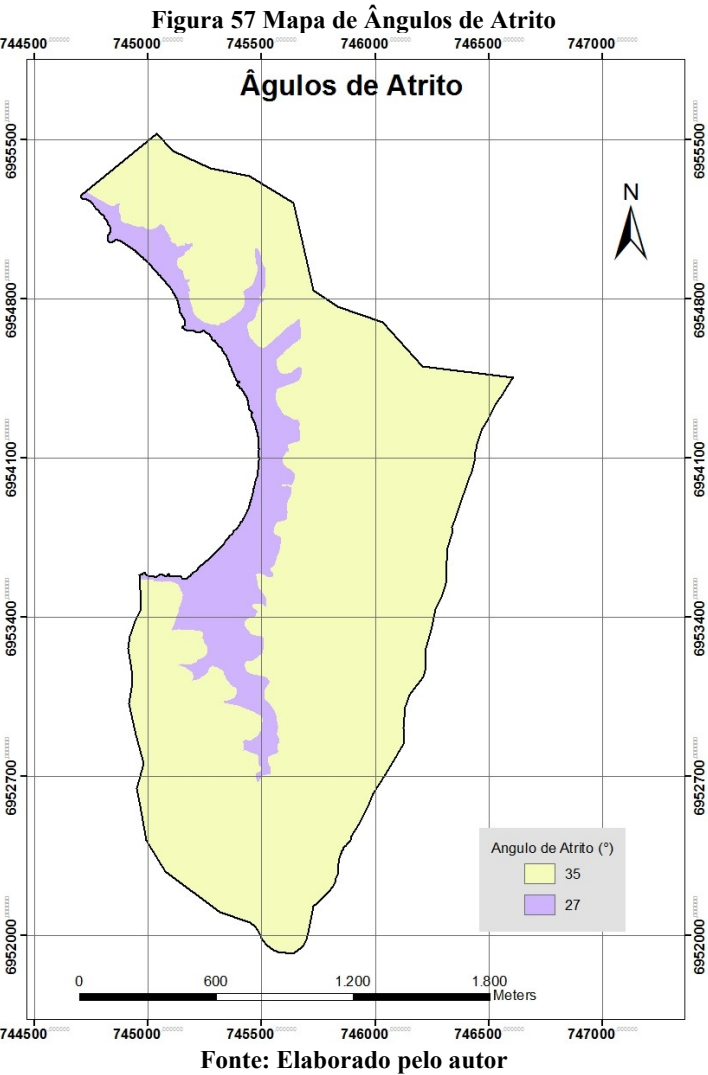
Os ensaios de cisalhamento direto permitiram a obtenção do ângulo de atrito médio, coesão, peso específico natural e peso específico saturado dos solos para a unidade geotécnica Podzólico Vermelho-

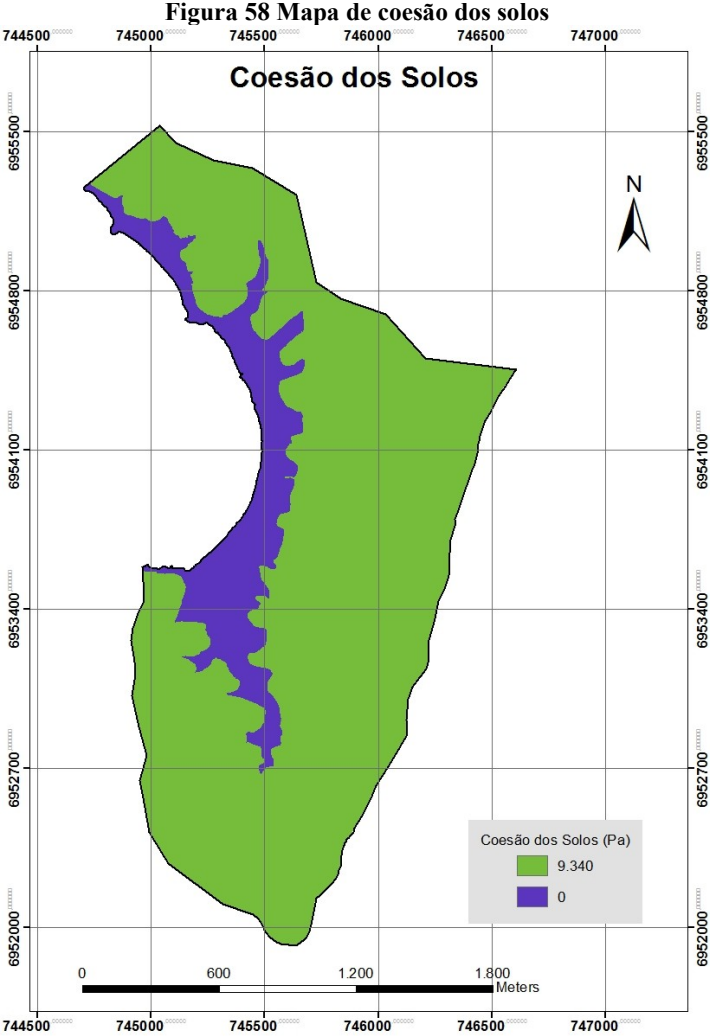
Amarelo substrato Granito (PVg). Os parâmetros da unidade geotécnica AQsq foram retirados de Santos (1997).

Para a criação destes mapas, utilizou-se a ferramenta *feature to raster*, no menu *conversion tools* do software *ArcMap*.



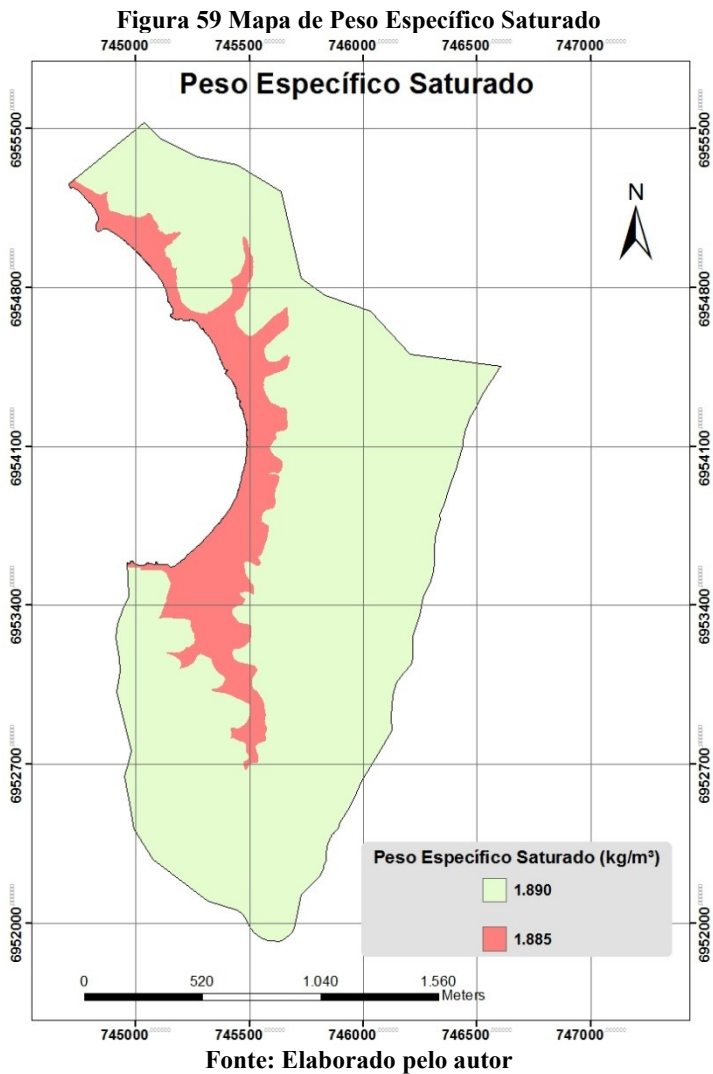
Fonte: Elaborado pelo autor





Fonte: Elaborado pelo autor







## 5. RESULTADOS

Nos subcapítulos subsequentes serão apresentados os resultados encontrados por este estudo, divididos nas seguinte etapas:

- ✓ Elaboração do Mapa Geotécnico Preliminar;
- ✓ Resultados da caracterização geotécnica dos solos;
- ✓ Resultados dos parâmetros de resistência dos solos;
- ✓ Resultados dos ensaios de permeabilidade dos solos;
- ✓ Resultados do toposequenciamento por DPL;
- ✓ Resultados – mapa de suscetibilidade a deslizamentos rasos – iteração SHALSTAB.

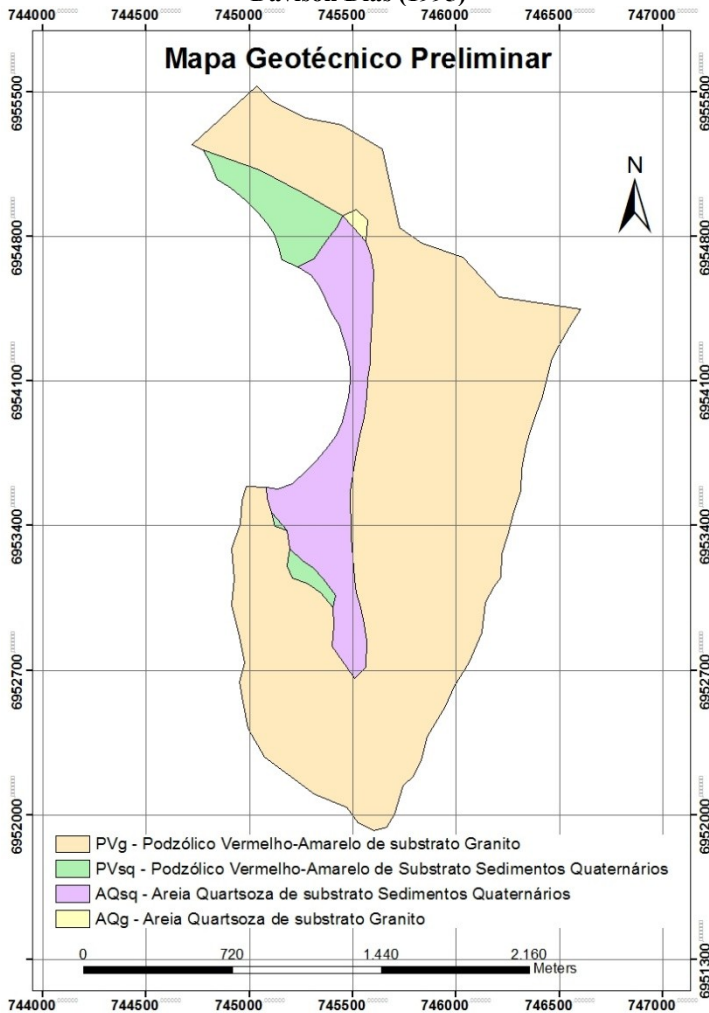
### 5.1. RESULTADOS - MAPA GEOTÉCNICO PRELIMINAR

A Figura 60 apresenta o mapa preliminar das unidades geotécnicas que compõem a Bacia de Santo Antônio de Lisboa, de acordo com a nomenclatura utilizada pela metodologia Davison Dias (1995). Neste trabalho optou-se pelo nome “mapa preliminar”, em detrimento da nomenclatura “mapa final”, uma vez que este dá a entender um resultado concluído, imutável. Entretanto, muitos estudos podem complementar e eventualmente alterar as conclusões atingidas aqui.

Como pode-se observar, a bacia de estudo apresenta quatro unidades geotécnicas:

- PVg – Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato Granito
- PVsq – Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato Sedimentos Quaternários
- AQsq – Areia Quartzosa de substrato Sedimentos Quaternários
- AQg – Areia Quartzosa de substrato Granito

**Figura 60 Mapa Geotécnico Preliminar com a nomenclatura adotada por Davison Dias (1995)**

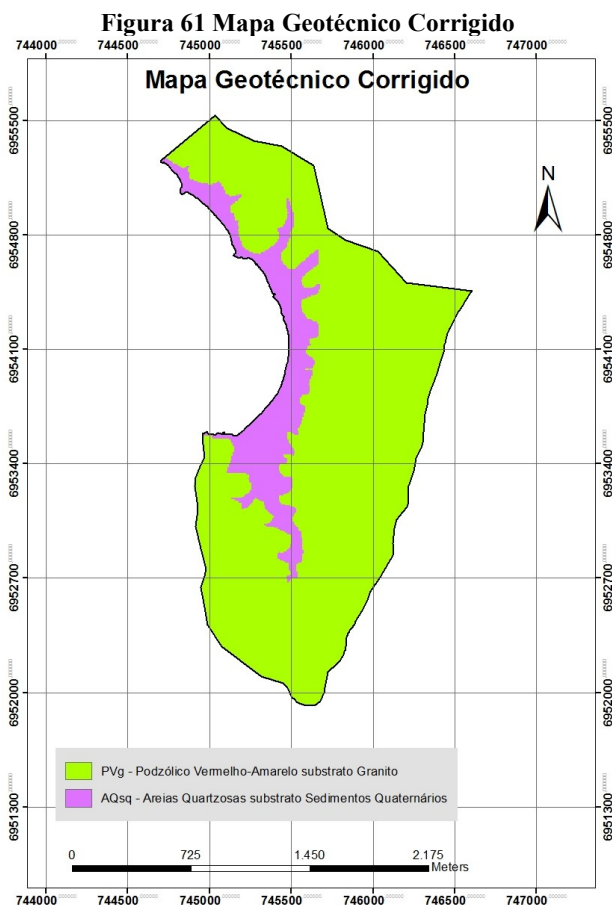


**Fonte: Elaborado pelo autor**

A simples sobreposição dos mapas pode gerar inconsistências. A unidade AQg, denominada Areia Quartzosa de substrato Granito é uma delas, pois essas areias tem como material de origem formações de sedimentos quaternários, e não graníticas.

Caramez (2011) aponta que a unidade PVsq - Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato Sedimentos Quaternários também pode ser caracterizada como uma inconsistência. A unidade pedológica, caracterizada como residual e de granulometria mais grosseira, tem sua pedogênese associada à formações graníticas.

De fato, Bim et al. (2012), fizeram levantamentos de campo, com sondagens a percussão, sondagens a trado e verificação de taludes expostos e verificaram inconsistências nesse mapa geotécnico preliminar, corrigindo-o de acordo com a cota altimétrica de 7 metros, que serviu como padrão entre a transição entre as unidades geotécnicas. O mapa geotécnico preliminar corrigido é apresentado na Figura 61.



Fonte: Bim et al., 2012.

Como pode-se observar, tem-se agora apenas duas unidades geotécnicas, que serão explanadas em sequência.

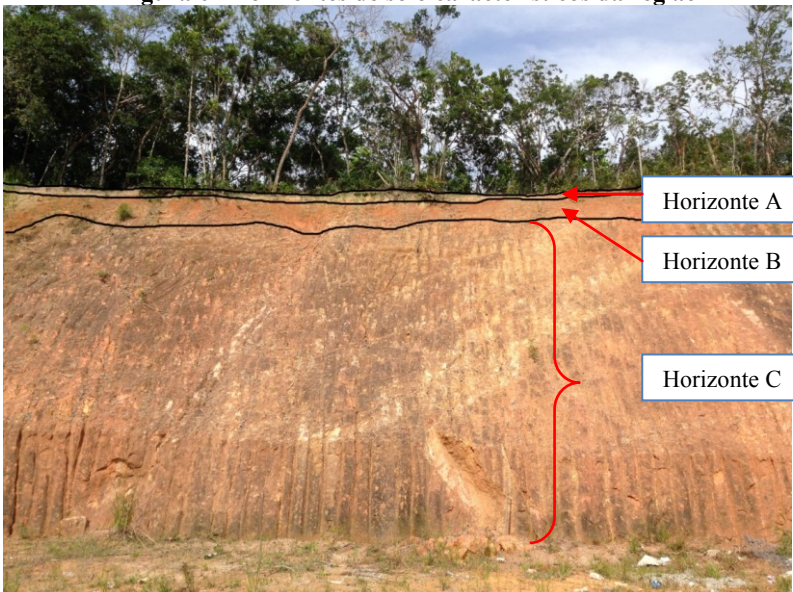
- PVg – Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato Granito
- AQsq – Areia Quartzosa Sedimentos Quaternários

#### **5.1.1. Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato Granito (PVg)**

Os Podzólicos Vermelho-Amarelos de substrato granito são característicos de regiões de clima úmido, com perfis bem desenvolvidos, profundidade mediana, moderadamente ou bem intemperizados. Esta unidade apresenta um horizonte A inferior a 50cm, um horizonte B de cores vermelhas com aproximadamente 1m de espessura, mais argiloso que o horizonte A, e um horizonte C granular, podendo alcançar até 30m de espessura. A

Figura 62 retirada de um talude exposto da região caracteriza bem essas espessuras de horizontes.

**Figura 62 Horizontes de solo característicos da região**



O teor de argila presente em seu horizonte B (de cor vermelha ou vermelho-amarelada), normalmente, é bem maior do que a quantidade deste material localizada no horizonte A.

O comportamento mecânico do horizonte C (saprolítico) desta unidade guarda a estrutura da rocha de origem, com presença de matacões (intemperismo esferoidal), e apresenta um comportamento variável em função do grau de intemperismo dos minerais primários presentes no horizonte C.

Estes horizontes (B e C), em geral, são parcialmente saturados e bem drenados.

No que diz respeito ao uso e ocupação por fundações superficiais de edificações, estas devem ser assentadas após o horizonte B, e assim contar com maior resistência e menor compressibilidade.

Uma característica importante dos solos da unidade PVg é a redução da resistência ao cisalhamento com a inundação. Este solo apresenta significativa perda de coesão com a variação do grau de saturação, independente do substrato e do horizonte (B ou C). Essa redução, notada para a coesão do solo, é observada em muito menor escala no ângulo de atrito interno, que, algumas vezes, eleva seu valor.

O horizonte C é muito suscetível à erosão. Desta forma, é importante manter o horizonte A e B dos solos em obras de engenharia que envolvam grande movimentação de terra.

Devido à anisotropia, típica do horizonte C deste tipo de unidade, ocorre a grande dispersão dos resultados de ensaios geotécnicos. Mesmo no horizonte B, a variação da textura interna desta camada de solo também é responsável pela variabilidade dos resultados.

Nos locais onde ocorrem diques de diabásio, as espessuras de solo são maiores e o horizonte C, dependendo do grau de alteração, pode ser expansivo. O solo de alteração de diabásio pode ocorrer dentro dos maciços rochosos, ou abaixo de corpos graníticos de grandes dimensões, trazendo sérios problemas geotécnicos para obras de engenharia. Os movimentos de massa que ocorrem nesta unidade, geralmente estão associados aos diques de diabásio.

Na unidade Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato granito, tanto o horizonte B quanto o C são bem drenados e apresentam lençol freático profundo, o que permite a sua utilização como absorvente de efluentes domésticos.

### **5.1.2. Areia Quartzosa de substrato Sedimentos Quaternários**

Na transição entre os morros e as planícies podem ocorrer as Areias Quartzosas de substrato sedimentos do quaternário. Os solos que compõem esta unidade apresentam textura arenosa ao longo do perfil, como o próprio nome sugere. Ocorrem em relevo plano ou suave ondulado, possuem coloração do branco ao amarelado/alaranjado uniforme, abaixo do horizonte A que é ligeiramente escuro.

Pode apresentar o lenço freático próximo à superfície, característica essa que pode influenciar no custo de obras de edificações, devido a possível necessidade de rebaixamento temporário no nível de água (fundações e subsolos), e eficiência do sistema de tratamento individual de esgoto.

A permeabilidade desta unidade de solo é elevada, e tanto a sua resistência quanto a sua compressibilidade de efeito imediato são condicionadas à compactidade das areias.

Uma característica importante a ser ressaltada deste tipo de unidade é a colapsibilidade. Caso as Areias Quartzosas situem-se acima do lençol freático, parcialmente saturadas ( $0 < S_r < 100\%$ ) podem apresentar uma redução brusca no volume de solo com a inundação do mesmo. Esta deformação do solo é denominada de colapsibilidade.

A unidade Areias Quartzosas de substrato sedimentos quaternários (AQsq), pode apresentar-se em um estado mais solto, mesmo em seu estado natural. Seu problema mais significativo é a erodibilidade. São solos bem drenados e que apresentam boa capacidade suporte desde que confinados. Sua indicação na absorção de efluentes depende da profundidade do lençol d'água subterrâneo, porém, mesmo assim não funcionam corretamente como filtro (O maior problema de engenharia, nessas regiões, é a execução de fossas e sumidouros, principalmente pela presença do lençol freático próximo à superfície dos terrenos). Esse é um problema comum a todos os solos que apresentam o nível d'água superficial, ou seja, a todos os solos hidromórficos. São áreas onde deveria ser prevista a execução de rede de esgotos com o objetivo de conduzir os efluentes às estações de tratamento.

### **5.1.3. Características gerais das Unidades Geotécnicas**

O Quadro 24 apresenta as características geotécnicas consideradas mais importantes e suas respectivas restrições sob a ótica da geotecnia.



**Quadro 24 Característica gerais das unidades geotécnicas**

<b>Unidade Geotécnica</b>	<b>Restrição</b>	<b>Características gerais</b>
<b>AQsq</b>	<b>Baixa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Solo extremamente erodível caso localizado em declividades moderadas a acentuadas.</li> <li>- Boa drenabilidade e alta permeabilidade.</li> <li>- A resistência e compressibilidade são condicionadas à compacidade das areias.</li> <li>- Resistência drenada.</li> <li>- Pode apresentar-se hidromórfica, resultando problemas com a eficiência de sistemas de tratamento individual de esgoto.</li> <li>- Colapsível se os solos desta unidade encontrarem-se parcialmente saturados.</li> <li>- Apresentam boa capacidade suporte para fundações quando confinadas.</li> <li>- Podem ser usadas de forma eficiente como corpo de aterros, confirmada pelos ensaios de MCT (<math>LA^*</math>).</li> </ul>
<b>PVg</b>	<b>Alta</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Encostas instáveis e de erodibilidade de alta a moderada.</li> <li>- Caso seja ocupada, taludes de corte devem ser avaliados pontualmente (caso a caso) de forma global e local e analisada a melhor intervenção (estrutura de contenção).</li> <li>- Elementos de fundações superficiais podem ser empregados para cargas leves (há a tendência de ocorrer elevada pressão de pré-adensamento e resistência ao cisalhamento), porém, podem ser observados locais em que ocorram solos colapsíveis;</li> <li>- Para que os processos erosivos sejam reduzidos, devem ser utilizadas técnicas de proteção superficial dos solos ou a simples conservação da cobertura vegetal (horizonte A).</li> <li>- Ocorre uma forte tendência de uso como jazida para a pavimentação.</li> </ul>

5.2. RESULTADOS – ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA

Neste item serão apresentados os resultados da classificação MCT, ensaios de granulometria, teor de umidade natural, densidade real das partículas de solo, os limites de Atterberg (Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade), além dos índices físicos.

A Figura 63, o Quadro 25 e o Quadro 26 apresentam os resultados obtidos com o ensaio MCT. Ressalta-se que os resultados obtidos pelo MCT neste trabalho devem ser considerados apenas como estimativas, uma vez que se tratam do resultado obtido apenas pelo método expedito das pastilhas, e não a metodologia completa.

Quadro 25 Resultados do ensaio MCT dos solos da bacia de Santo Antônio de Lisboa







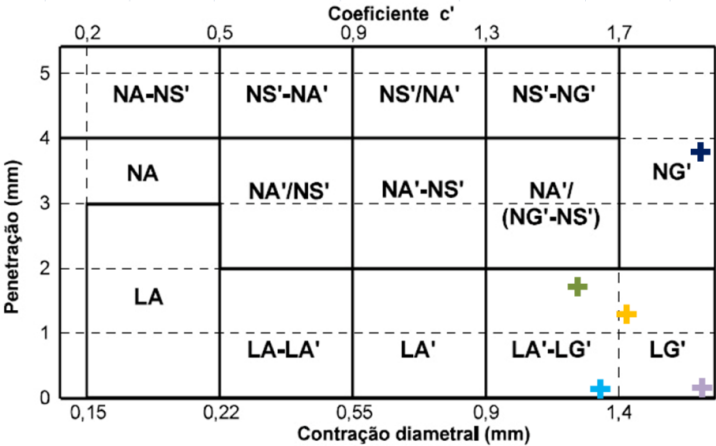
MCT		Contração. (mm)	Penetração (mm)	Classificação
T1		2,40	3,80	NG'
T2		---	---	---
T3		1,14	1,80	LA'-LG'
T4		2,44	0,13	LG'
T5		1,25	0,10	LA'-LG'
T6		1,48	1,20	LG'

Figura 63 Resultados do ensaio MCT dos solos da bacia de Santo Antônio de Lisboa



**Quadro 26 Resultados do ensaio MCT dos solos da bacia de Santo Antônio de Lisboa**

<b>T1</b>	Após a reabsorção de água, o solo não voltou as dimensões originais e apresentou trincas.
	A esfera imersa em água se desagregou em partículas cerca de 10 minutos após a imersão, e as partículas de solo podem ser identificadas.
	A esfera submetida ao esmagamento não se quebrou.
<b>T3</b>	Após a reabsorção de água, o solo voltou às dimensões originais.
	A esfera imersa em água se desagregou em partículas cerca de 10 minutos após a imersão, e as partículas de solo podem ser identificadas.
	A esfera submetida ao esmagamento quebrou-se sob pressão do polegar em uma superfície plana.
<b>T4</b>	Após a reabsorção de água, o solo não voltou as dimensões originais.
	A esfera imersa em água se desagregou parcialmente em partículas cerca de 10 minutos após a imersão, e as partículas de solo podem ser identificadas.
	A esfera submetida ao esmagamento não se quebrou.
<b>T5</b>	Após a reabsorção de água, o solo não voltou as dimensões originais.
	A esfera imersa em água se desagregou em partículas cerca de 10 minutos após a imersão, e as partículas de solo podem ser identificadas.
	A esfera submetida ao esmagamento não se quebrou.
<b>T6</b>	Após a reabsorção de água, o solo voltou às dimensões originais.
	A esfera imersa em água se desagregou em partículas cerca de 10 minutos após a imersão, e as partículas de solo podem ser identificadas.
	A esfera submetida ao esmagamento não se quebrou.

Com os resultados do MCT, pode-se observar a predominância dos solos lateríticos, dentre os taludes estudados.

Do ponto de vista pedológico, os solos lateríticos mais típicos pertencem à classe dos latossolos. No entanto, em termos de comportamento geotécnico, tem-se incluído outros solos de classes pedológicas no grupo de comportamento laterítico, como é o caso de algumas areias quartzosas e muitos solos podzólicos (GODOY et al., 1996 apud CASTRO 2002).

Os solos de comportamento lateríticos (L) apresentam peculiaridades quanto ao seu uso, tais como a elevada porosidade

aparente natural, a baixa resistência e a baixa capacidade de suporte. Entretanto, quando compactados, estes solos adquirem elevadas resistências e capacidade de suporte, além de baixa permeabilidade.

A seguir serão descritas as unidades identificadas neste estudo, de acordo com Nogami e Villibor (1995).

**Quadro 27 Descrição das unidades alcançadas pelo ensaio MCT.**

<b>LA'</b>	<b>Areias argilosas lateríticas:</b>	<p>Solos compostos por areias argilosas de comportamento laterítico, que apresentam matizes vermelho e amarelo, que dão cores firmes ao solo. Em condição natural, esse solos apresentam baixa massa específica aparente seca e baixa capacidade de suporte, além de poder ser colapsíveis quando imersos em água.</p> <p>Quando devidamente compactados, adquirem elevada capacidade de suporte, elevado módulo de resiliência, baixa permeabilidade e pequena expansibilidade. Em condições naturais, possui baixa massa específica aparente seca e baixa capacidade de suporte.</p> <p>Se caracterizam por dar cortes firmes, nitidamente trincados, quando expostos às intempéries.</p>
<b>LG'</b>	<b>Argilas lateríticas e argilas lateríticas arenosas:</b>	<p>Estes solos podem apresentar propriedades similares às dos solos LA', quando possuem porcentagem relativamente elevada de grãos de areia. Apresentam, entretanto, menores módulos de resiliência, maior plasticidade e menor massa específica aparente seca.</p> <p>Quando apresentam agregados bem desenvolvidos, são altamente permeáveis e colapsíveis por imersão em água, apesar de serem granulometricamente argilas e, devido a isto, geram taludes de corte não sujeitos à erosão pluvial.</p>
<b>NG'</b>	<b>Argilas, argilas siltosas e argilas arenosas não-lateríticas:</b>	<p>Grupo composto por solos saprolíticos argilosos que derivam de rochas sedimentares argilosas ou cristalinas, pobres em quartzos e ricas em anfibólios, piroxênios e feldspatos cálcicos. São típicos de vertissolos ou solos transportados.</p> <p>Quando compactados nas condições de umidade ótima e massa específica aparente máxima da energia normal, apresentam características das argilas tradicionais muito plásticas e expansivas. Do ponto de vista da resiliência, apresentam, quando compactados, características bilineares em função da tensão desvio, sendo pouco dependentes da pressão de confinamento.</p> <p>O emprego dos solos desse grupo se prende às restrições consequentes da sua elevada plasticidade, expansibilidades e compressibilidade e contração quando submetidos à secagem.</p>

**Fonte: Nogami e Villibor (1995).**

Além da classificação MCT, foi feita a análise da imersão da em água, onde verificou-se que as esferas se desagregaram em partículas cerca de 10 minutos após a imersão, e as partículas de solo puderam ser identificadas.

Segundo Godoy (1997) apud Higashi (2006), quanto maior o grau de comportamento laterítico (presença de uma cimentação natural causada pelos óxidos de ferro e alumínio), menor a reação com a água. Já ao contrário, quando a esfera de solo reage imediatamente ao ser imersa, perde totalmente a coesão. Isto acontece em solos arenosos, de menor grau de comportamento laterítico.

A Figura 64 demonstra a realização do ensaio MCT, antes e após a reabsorção e imersão das esferas em água.

**Figura 64 Execução dos ensaios MCT nos pontos T3, T4, T5 e T6.**



O Quadro 28 apresenta o resumo dos resultados dos ensaios de caracterização e índices físicos.

**Quadro 28 Resultados dos Índices Físicos dos solos da bacia**

Talude	ÍNDICES FÍSICOS							
	$\gamma_{\text{natural}}$	$\gamma_{\text{saturado}}$	Umidade Natural	$\delta$	n	e	A	Sr
	(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )	(%)	g/cm <sup>3</sup>	(%)		(%)	(%)
<b>T1</b>	17,10	18,41	26,34	2,75	49,72	0,99	26,50	73,50
<b>T2</b>	18,00	19,29	19,06	2,71	43,03	0,76	31,56	68,44
<b>T3</b>	17,71	18,60	26,33	2,67	46,38	0,87	18,39	81,61
<b>T4</b>	16,01	17,72	25,30	2,64	50,56	1,02	34,64	65,36
<b>T5</b>	16,12	17,92	24,10	2,65	49,94	1,00	35,97	64,03
<b>T6</b>	17,46	19,19	16,20	2,65	42,09	0,73	40,63	59,37

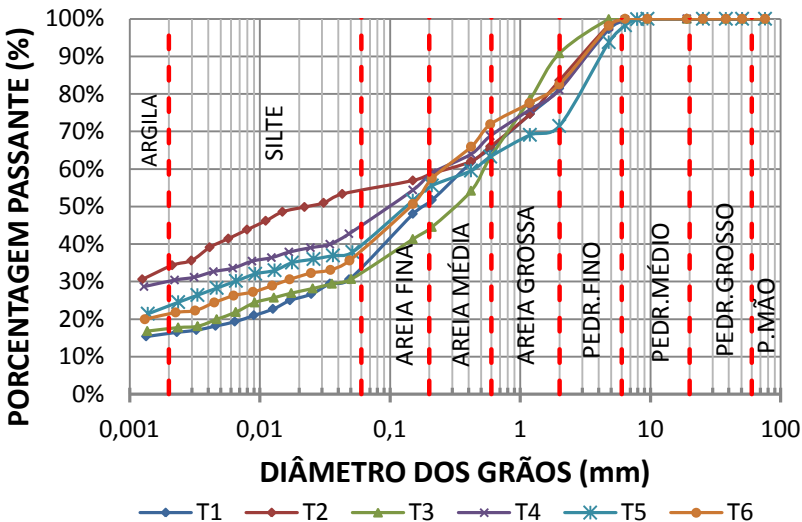
**NOTA:** Média dos valores alcançados nos ensaios;  $\gamma_{\text{natural}}$  – Peso específico aparente natural;  $\gamma_{\text{saturado}}$  – Peso específico aparente saturado;  $\delta$  – Densidade real dos grãos; n – Porosidade; e – Índice de vazios; A – Grau de aeração; Sr – Grau de saturação.

Higashi et al. (2012) apontam que o intervalo considerado adequado para a densidade dos grãos ( $\delta$ ) das unidades de solo Podzólicos Vermelho-Amarelos do sul do Brasil varia de 2,58 a 2,72g/cm<sup>3</sup>, estando apenas o talude T1 deste estudo fora dessa margem. Pejon e Silveira (2007) indicam, ainda, que nos solos de São Paulo, densidades reais das partículas ( $\delta$ ) contidas no intervalo entre 2,51 a 2,7 g/cm<sup>3</sup> tem relação com a erodibilidade. Isso ratifica o que já haviam afirmado Santos (1997) e Bevilaqua (2004), que verificaram a alta suscetibilidade à erosão dos solos Podzólico Vermelho-Amarelos de substrato granito presentes na Ilha de Santa Catarina. A percepção visual que se teve na análise e coleta das amostras deste trabalho contribui para essa afirmação, uma vez que os horizontes C deste tipo de solo, quando expostos em seu estado natural, se demonstraram bastante afetados pela erosão.

A Figura 65,

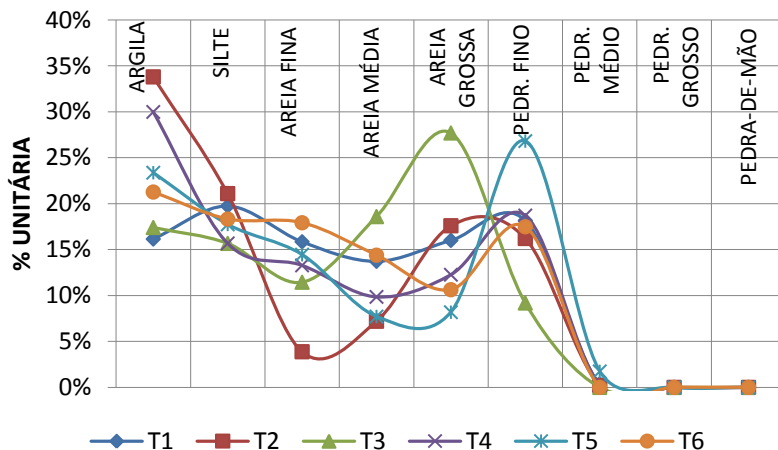
Figura 66 e o Quadro 29 apresentam os resultados da análise granulométrica.

**Figura 65 Resultados da Análise Granulométrica dos solos da bacia**



**Quadro 29 Resultados da Análise Granulométrica dos solos da bacia (%)**

	ARGILA	SILTE	AREIA FINA	AREIA MÉDIA	AREIA GROSSA	PEDR. FINO	PEDR. MÉDIO	PEDR. GROSSO	PEDRA-MÃO
<b>T1</b>	16,15	19,74	15,85	13,72	16,00	18,16	0,37	---	---
<b>T2</b>	33,80	21,09	3,88	7,20	17,59	16,21	0,23	---	---
<b>T3</b>	17,40	15,68	11,45	18,59	27,69	9,19	---	---	---
<b>T4</b>	29,98	15,68	13,28	9,85	12,26	18,70	0,24	---	---
<b>T5</b>	23,37	17,74	14,45	7,71	8,18	26,81	1,74	---	---
<b>T6</b>	21,26	18,32	17,92	14,39	10,63	17,48	---	---	---

**Figura 66 Resultados da Análise Granulométrica dos solos da bacia**

Com esses dados, é possível perceber a variação textural dos solos. Enquanto o T1, T3 e T5 apresentam maiores porcentagens de areia grossa e pedregulho fino em sua composição, os pontos T2, T4 e T6 apresentam maiores porcentagens de argila. Bevilaqua (2004) já apontava a “grande heterogeneidade característica deste tipo de solo”. Segundo o autor, a textura dos solos saprolíticos é bastante influenciada pelo grau de atuação do intemperismo, que varia de um local para outro, além da mineralogia da rocha de origem.

O quadro Quadro 30 a seguir apresenta os resultados dos limites de consistência de Atterberg.

**Quadro 30 Resultados dos Limites de Atterberg dos solos da bacia**

Talude	Limites de Atterberg		
	LL (%)	LP (%)	IP (%)
<b>T1</b>	57%	44%	13%
<b>T2</b>	69%	36%	33%
<b>T3</b>	55%	32%	23%
<b>T4</b>	64%	44%	20%
<b>T5</b>	59%	37%	22%
<b>T6</b>	44%	30%	14%

**NOTA: Média dos valores alcançados nos ensaios; LL – Limite de liquidez; LP – Limite de plasticidade; IP – Índice de plasticidade.**

A classificação de Jenkins, segundo Caputo (1987), indica a plasticidades dos solos, conforme o Índice de Plasticidade (IP):

Fracamente plásticas	$1 < IP < 7$
Medianamente plásticas	$7 < IP < 15$
Altamente plásticas	$IP > 15$

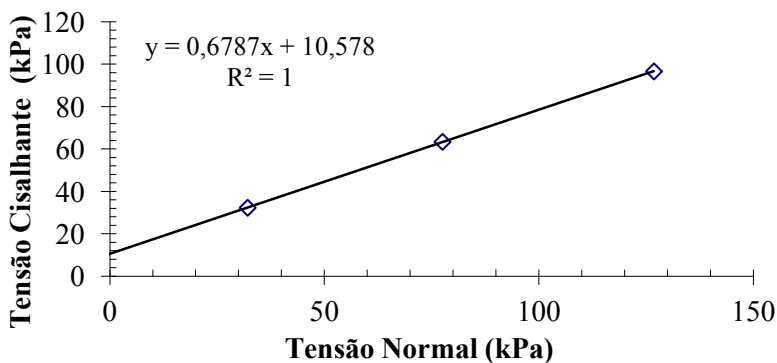
As amostras T1 e T6 podem ser ditas como medianamente plásticas, ao passo que as demais amostras são altamente plásticas. Raimundo (1998) alerta que as concreções envoltas na fração arenosa dos solos desta unidade geotécnica mascaram os limites de consistência, conduzindo-os a uma característica de solos altamente plásticas. Isso ocorre porque quando se determina os limites de liquidez e plasticidade, trabalha-se com a fração fina do solo, e, por isso, quando se retirou a fração arenosa do horizonte C do granito, em maior volume, se descaracterizou o comportamento mais friável deste solo e verificou-se a alta plasticidade dos filmes de argila presentes na massa do solo.



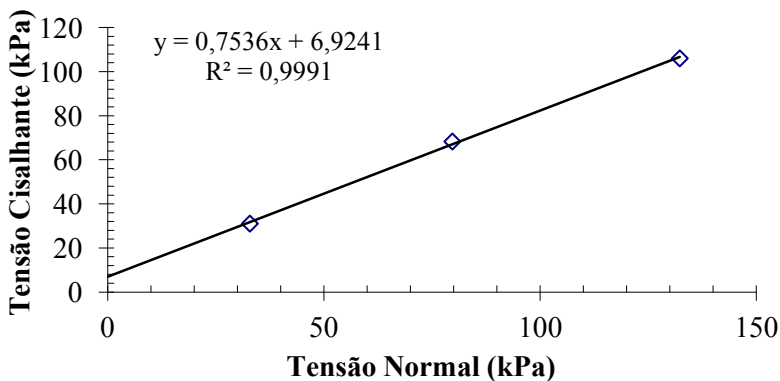
### 5.3. RESULTADOS – ENSAIOS DOS PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA

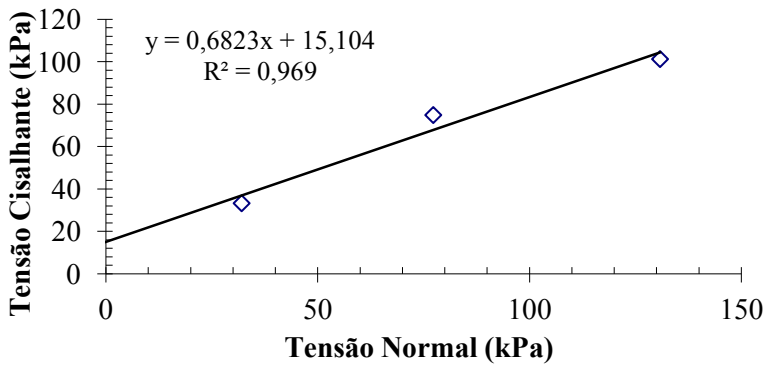
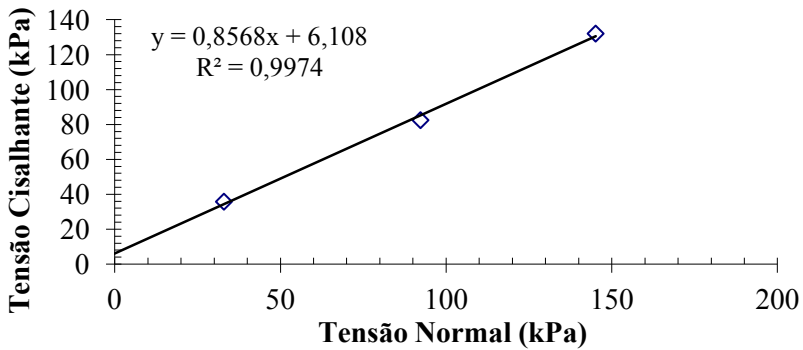
As figuras a seguir apresentam as envoltórias de ruptura de Mohr-Coulomb resultantes do ensaio de cisalhamento direto realizados nas amostras inundadas.

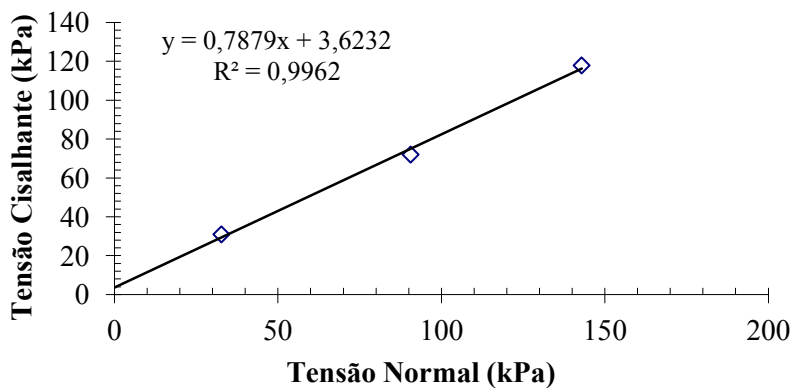
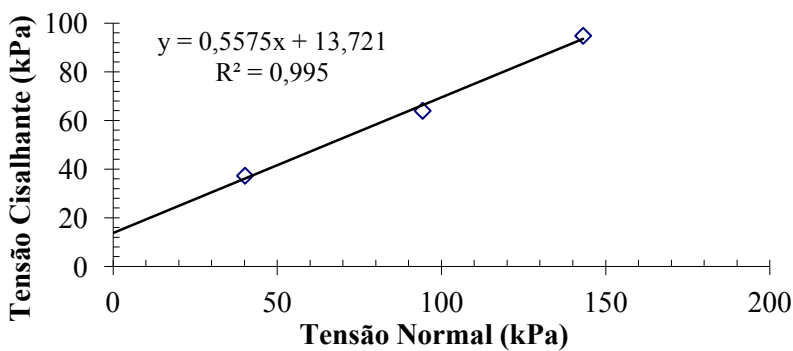
**Figura 67 Resultados do ensaio de cisalhamento direto do Talude 1**



**Figura 68 Resultados do ensaio de cisalhamento direto do Talude 2**

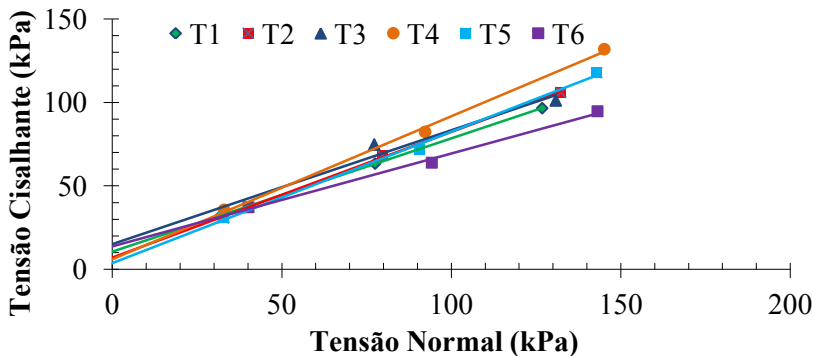


**Figura 69 Resultados do ensaio de cisalhamento direto do Talude 3****Figura 70 Resultados do ensaio de cisalhamento direto do Talude 4**

**Figura 71 Resultados do ensaio de cisalhamento direto do Talude 5****Figura 72 Resultados do ensaio de cisalhamento direto do Talude 6**

A Figura 73 a seguir apresenta um comparativo entre todas as envoltórias obtidas.

**Figura 73 Resultado comparativo entre os resultados dos ensaios de cisalhamento direto**



O Quadro 31 apresenta os valores obtidos de coesão e ângulo de atrito interno dos taludes estudados.

**Quadro 31 Resumo dos parâmetros de resistência dos solos da bacia de Santo Antônio de Lisboa.**

	Coesão (kPa)	Ângulo de Atrito Interno ( $\phi$ ) (°)
<b>T1</b>	10,58	34,00
<b>T2</b>	6,92	37,00
<b>T3</b>	15,10	34,00
<b>T4</b>	6,11	40,60
<b>T5</b>	3,62	38,00
<b>T6</b>	13,72	29,10

**NOTA: \*Média dos valores alcançados nos ensaios; c – Coesão;  $\phi$  - Ângulo de atrito.**

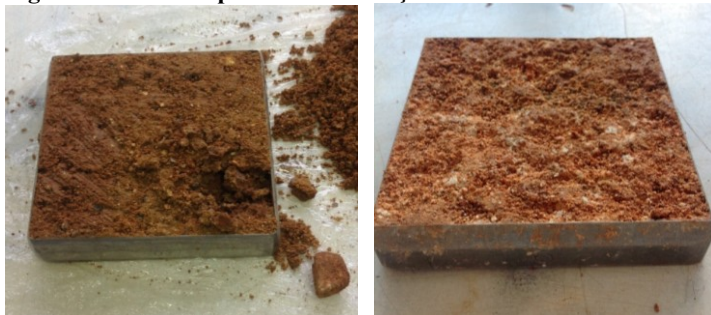
O Quadro 32 apresenta alguns valores de coesão e ângulo de atrito na condição inundada obtidos por outros autores na região de estudo.

**Quadro 32 Alguns valores de coesão e ângulo de atrito dos solos PVg da região de estudo.**

<b>Autor</b>	<b>Coesão Inundada (kPa)</b>	<b>Ângulo atrito Inundado (°)</b>
<b>Santos (1997)</b>	7,0	39
<b>Raimundo et al. (2002)</b>	5,2	35,9
<b>Beviláqua (2004)</b>	0	40,1
	6	35,2
<b>Oliveira et al. (2012)</b>	15	31

Durante a preparação das amostras para os ensaios de cisalhamento direto, verificou-se a presença de grãos de diâmetros maiores do que os permitidos pela norma ASTM D3080 (1/6 da altura da amostra), já ratificados na posterior análise granulométrica. Isso dificultou bastante a correta preparação da amostra, principalmente no rasamento do anel metálico, que acabava criando “furos” eventualmente preenchidos pela sobra do próprio material rasado ou provocando a inutilização total da amostra, conforme a Figura 74. Dessa forma, os valores obtidos nestes ensaios podem apresentar erros importantes, uma vez que erros em preparações de amostras pequenas podem tomar grandes proporções.

**Figura 74 Amostra perdida e concreções no anel de cisalhamento.**



Entretanto, ao se comparar os resultados encontrados neste estudo com os resultados obtidos pelos demais autores, percebe-se que os valores encontrados encaixam-se dentro da faixa esperada e provável.

Ressalta-se que as amostras foram ensaiadas na condição inundada, o que gera um decréscimo bastante significativo dos parâmetros de resistência nos solos desta unidade geotécnica (RAIMUNDO, 1998).

Outro fator que deve ser considerado é a grande presença de veios argilizados de cores acinzentadas no horizonte C dos taludes estudados. Durante a retirada das amostras, já se havia percebido a fragilidade desses veios, que acabavam rompendo o solo sob um pequeno esforço. Amostras que eventualmente tenham esses veios em sua composição, certamente apresentariam resultados diferentes.

Raimundo (1998) observou que esses planos argilosos são caracterizados pela lixiviação de cátions, tanto o ferro como o plagioclásio cálcico, possuem uma elevada capacidade de absorção e retenção d'água, provocando fluxo no seu contorno, logo, pelo solo residual que é mais arenoso. Isso também provoca uma condição de sobrepressão hidrostática, pois a passagem de água é dificultada pelos planos argilosos.

**Figura 75 Veios argilizados formando planos de fraqueza no horizonte C dos solos da região.**



Brand e Phillipson (1985 apud Bevilaqua, 2004) apontam a precaução quanto ao uso do ensaio de cisalhamento direto em solos graníticos, uma vez que essas zonas de fraquezas nas amostras podem não ser solicitadas pelo plano de cisalhamento pré-estabelecido neste tipo de ensaio. Bastos (1991), entretanto, acredita que é bem mais representativo a investigação de um grande número de amostras e pontos amostrados, o que é viável através deste método de ensaio.

#### 5.4. RESULTADOS – ENSAIOS DE PERMEABILIDADE

Os ensaios de permeabilidade, da mesma forma que os ensaios de cisalhamento direto, foram complicados pela granulometria grossa e consequente baixa coesão dos solos, tornando a moldagem dos corpos de prova bastante complicadas.

Oliveira et al. (2012) aponta que a permeabilidade dos solos residuais de granito são da ordem de  $10^{-5}$  cm/s, ao passo que a permeabilidade dos maciços rochosos de granito estão entre  $10^{-4}$  cm/s e  $10^{-9}$  cm/s.

Caputo (1996) identifica os valores de coeficientes de permeabilidade característicos de acordo com a granulometria como sendo:

**Quadro 33 Coeficientes de permeabilidade característicos.**

Fração de solo	K (cm/s)
Argilas	$< 10^{-9}$
Siltes	$10^{-6}$ a $10^{-9}$
Areias argilosas	$10^{-7}$
Areias finas	$10^{-5}$
Areias médias	$10^{-4}$
Areias grossas	$10^{-3}$

**Fonte: CAPUTO, 1996.**

O Quadro 34 apresenta os valores dos coeficientes de permeabilidade obtidos pelos ensaios deste trabalho

**Quadro 34 Coeficientes de permeabilidade**

Amostra	K (cm/s)	e*
T1	$2,39 \times 10^{-4}$	0,99
T2	$1,99 \times 10^{-4}$	0,76
T3	$1,40 \times 10^{-4}$	0,87
T4	$1,75 \times 10^{-3}$	1,02
T5*	$2,39 \times 10^{-1}$	1,00
T6	$3,65 \times 10^{-3}$	0,73

**NOTA (\*): Obtidos através dos anéis de cisalhamento direto.**

Os desvio do resultado apresentado pela amostra T5 pode ser explicado pela formação de um caminho preferencial da água na amostra, seja pela má alocação da lama bentonítica, seja pela característica do solo. A granulometria grossa e a baixa coesão dos solos

dificultaram a moldagem do corpo-de-prova, o que pode ter criado vazios laterais no contato entre a amostra e a lama bentonítica, embora tenha-se tomado cuidado para que isto não ocorresse. Outra explicação plausível é a própria característica do solo, que apresenta fraturas e vazios que podem ter facilitado a passagem de água, aumentando sua permeabilidade.

O valor do T3, bem mais baixo que os demais, poderia ser explicado pela grande presença dos mosqueados de argila na região da coleta. Caso alguns desses veios tenha atravessado a amostra, apresentaria alteração significativa no resultado.

Os demais valores demonstram resultados que nem sempre acompanham o índice de vazios e granulometria dos solos. O T6, embora tenha o menor índice de vazios (0,73), apresentou a maior permeabilidade. Já o T4, que apresenta o maior índice de vazios (1,02) e maior quantidade de argilas em sua composição (29,98%), apresentou a segunda maior permeabilidade, embora saiba-se que a argila tem permeabilidade mais baixa do que materiais de granulometria mais grossa.

De uma forma geral, os resultados obtidos identificaram permeabilidades características de solos de areia médias e grossas, conforme Quadro 33.

**Figura 76 Veios argilizados no horizonte C dos solos da região.**

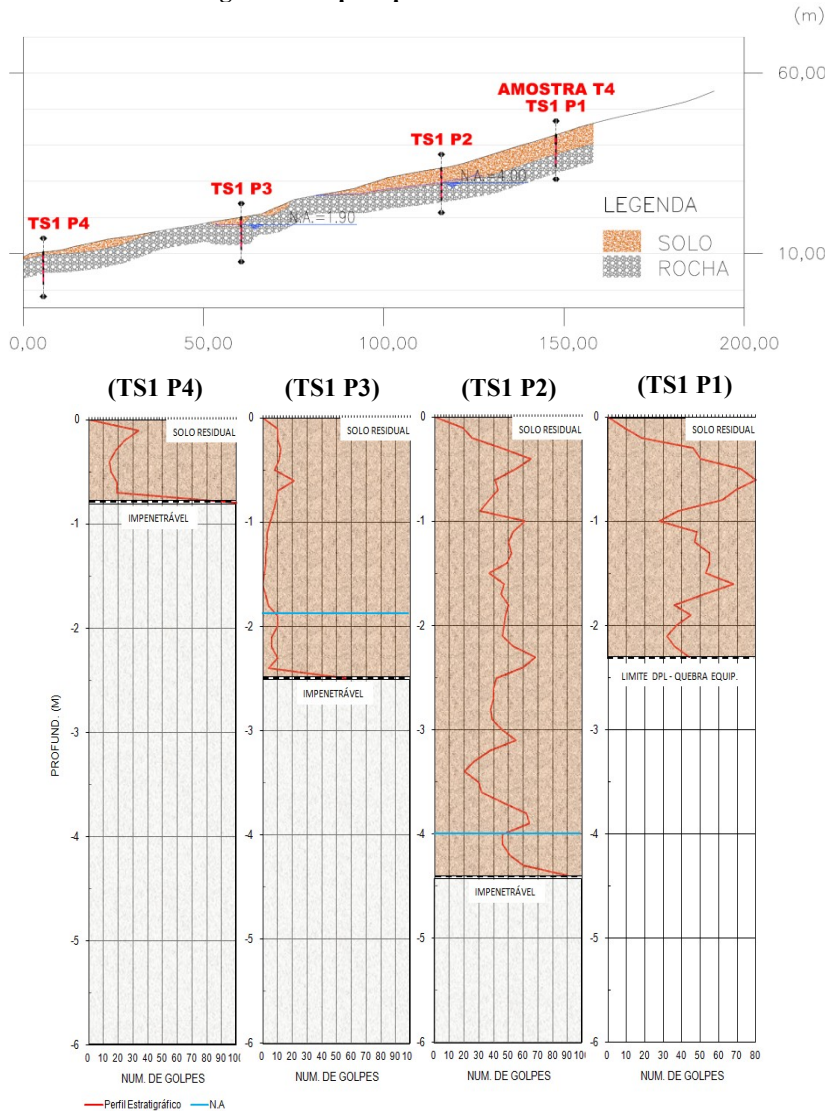




5.5. RESULTADOS – TOPOSEQUÊNCIAS POR DPL

A Figura 77 e Figura 78 demonstram os resultados obtidos pelos ensaios DPL no TS1.

Figura 77 Toposequência DPL no TS1.



Antes de se fazer uma análise completa deste ponto, deve-se atentar o primeiro ponto deste toposequenciamento (TS1 P1) teve que ser interrompido em função da quebra do equipamento, não chegando a atingir o impenetrável.

Dito isso, verifica-se que não há um padrão de resistência dos solos. No ponto TS1 P1, ainda no primeiro metro, verifica-se uma resistência altíssima de 80 golpes, que depois decresce para os 30 golpes. No momento da execução, verificou-se que a haste chegou a entortar, dificultando muito sua saída do solo. Isso pode ser explicado pela presença de um matacão, que deve ter sido atingido lateralmente, forçando o entortamento da barra e dificultando a sua penetração no solo.

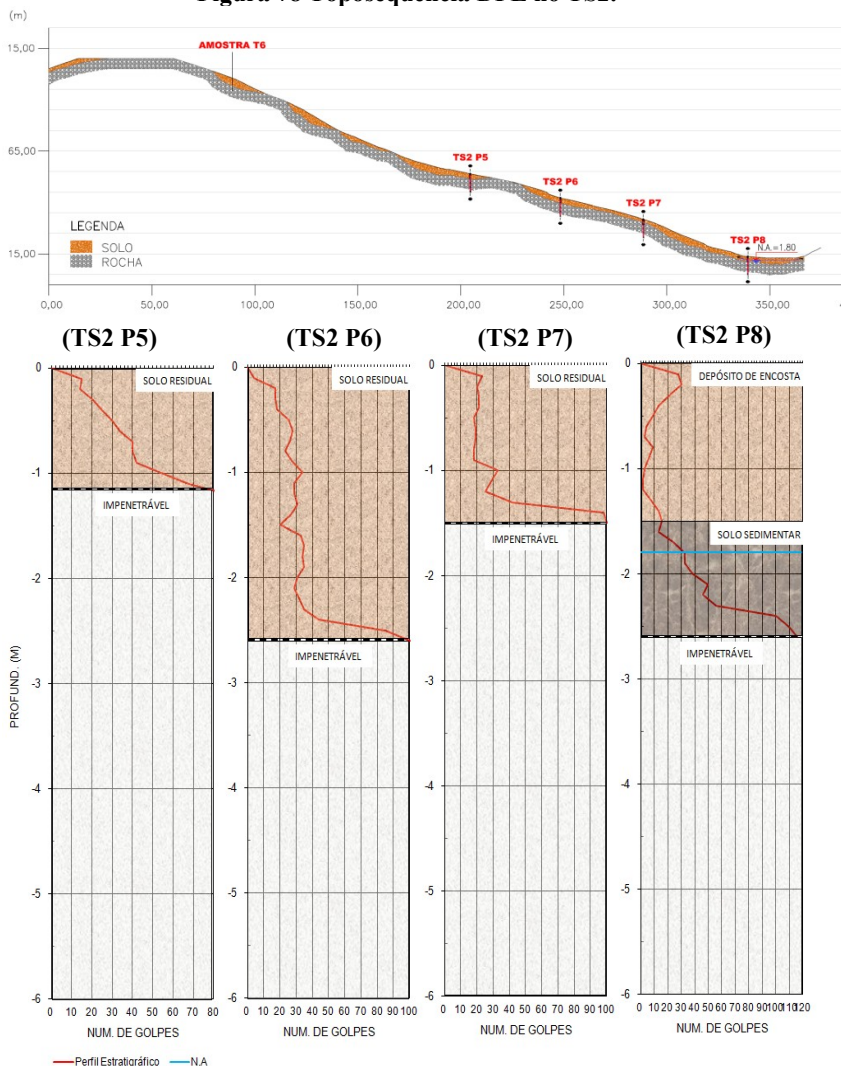
É interessante também o comportamento do ponto TS1 P3, que apresentou resistências muito baixas, chegando a penetrar 10 cm sem a queda do peso padrão, somente sob efeito da gravidade.

Somente nos pontos TS1 P2 e TS1 P3 foi possível identificar o nível freático.

O TS1 P4 apresentou uma profundidade até o impenetrável de apenas 80 cm. No local do ensaio, foi verificado a presença de uma laje rochosa que parece atravessar boa parte da região plana, próxima a SC-401.

A Figura 78 apresenta os resultados para o toposequenciamento TS2, que é bastante representativo, uma vez que se conseguiu atingir uma boa altura no maciço para a execução do DPL.

Figura 78 Toposequência DPL no TS2.



O ponto TS2 P5 é característico de solos residuais, com a resistência aumentando com a profundidade. O ponto TS2 P8, quase na parte plana do pé do maciço, apresentou visualmente solos depósito de encostas e solos sedimentares, diferentemente de todos os pontos anteriores. Neste ponto foi possível, também, identificar o nível freático.

Em uma análise geral, foi possível identificar que os solos dos dois maciços são pouco ou medianamente espessos, com uma média até o impenetrável de aproximadamente 2 metros de profundidade. Visualmente falando, esse resultado já era esperado, uma vez que foram verificados muitos afloramentos de rochas na região, característicos deste tipo de solo.

**Figura 79 Afloramentos de rocha e matacões na região de estudo.**

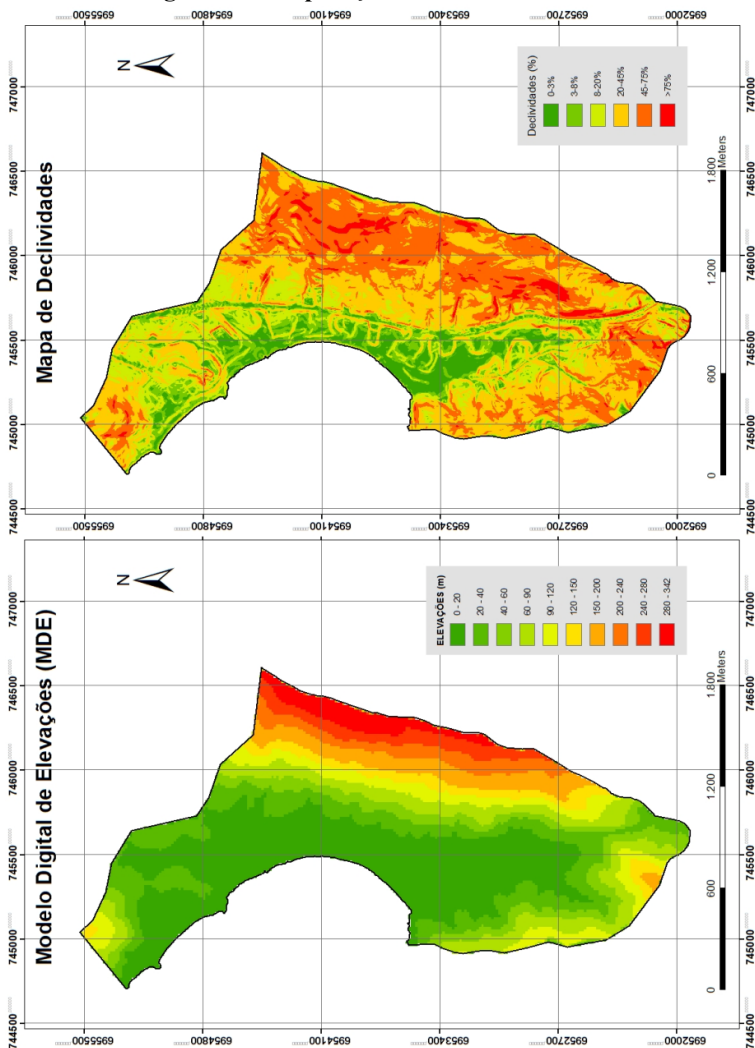


## 5.6. RESULTADOS – MAPA DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS RASOS – MODELO SHALSTAB

Embora a bacia não tenha maciços de grande altitude, conforme mostrado no MDE, foi possível verificar muitos pontos de altas declividades, principalmente de classes forte onduladas (20 a 45%) e montanhosas (45 a 75%). É possível identificar também pontos de classe escarpada, principalmente nas regiões mais altas, a sul e leste da bacia. Ao se olhar o mapa de declividades, percebe-se a sua semelhança com o mapa geotécnico preliminar elaborado anteriormente, comprovando que

a unidade geotécnica PVg é composta de morros altos, fortemente dissecados e com encostas íngremes.

**Figura 80 Comparação MDE e Declividades**



É interessante analisar também, que o mapa topográfico utilizado na confecção do mapa de declividades é oriundo de uma restituição aerofotogramétrica anterior a 2008, não apresentando, portanto, o escorregamento de 2008, aqui classificada como escarpada.

A declividade da encosta é o fator determinante da sua estabilidade, sendo que locais com declividade acentuada tendem a sofrer processos erosivos constantes (BORGHA et al., 2002). Além disso, quanto mais declividade apresenta uma encosta, menos chuva é necessária para causar sua instabilidade, tornando encostas íngremes mais propensas a ocorrências escorregamentos (DIETRICH E MONTGOMERY, 1998).


As figuras a seguir apresentam os mapas de suscetibilidade a deslizamentos da bacia de Santo Antônio de Lisboa, sob diferentes cenários de profundidade. Os cenários com profundidade maiores que 5 metros desconsideraram o fator coesão de raízes, conforme Michel (2013).

**Quadro 35 Cenários de análise de suscetibilidade a deslizamentos rasos**

Cenário	Peso específico (kg/m³)	Profundidade (z)	Coesão de raízes (Pa)
I	$\gamma_{\text{natural}}$	2	5900
II	$\gamma_{\text{natural}}$	3	5900
III	$\gamma_{\text{natural}}$	4	5900
IV	$\gamma_{\text{natural}}$	5	0
V	$\gamma_{\text{natural}}$	7	0
VI	$\gamma_{\text{saturado}}$	2	5900
VII	$\gamma_{\text{saturado}}$	3	5900
VIII	$\gamma_{\text{saturado}}$	4	5900
IX	$\gamma_{\text{saturado}}$	5	0
X	$\gamma_{\text{saturado}}$	7	0

Todos os cenários foram analisados através do modelo SHALSTAB, com classes de estabilidade como segue:

 A) incondicionalmente instável e não saturado;


 B) incondicionalmente instável e saturado;

 C) instável e saturado;

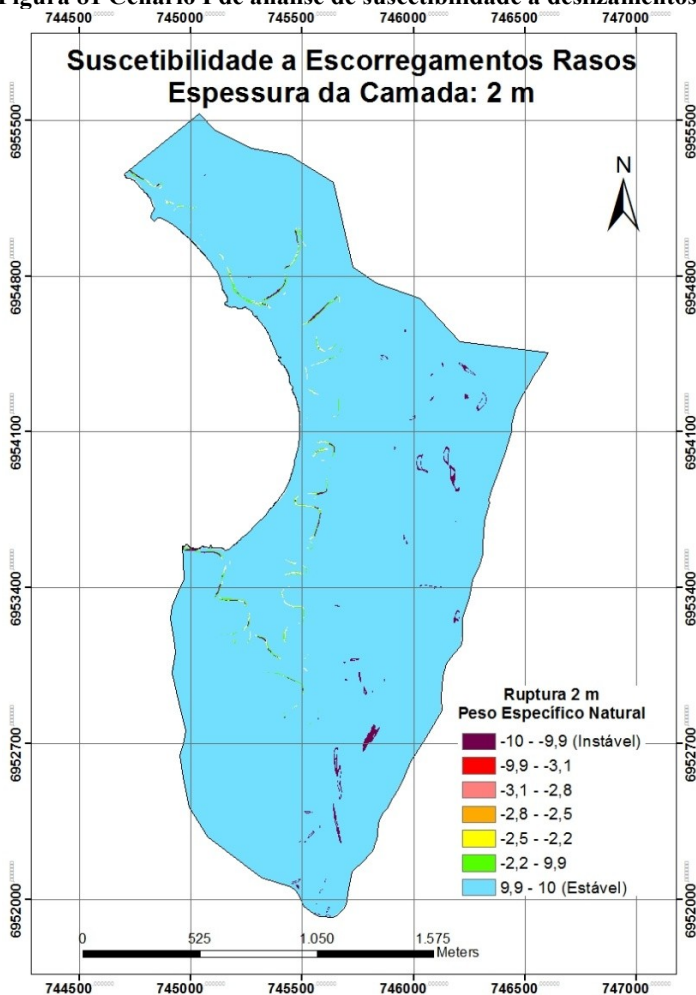
 D) instável e não saturado;

 E) estável e não saturado;

 F) incondicionalmente estável e não saturado; e

 G) incondicionalmente estável e saturado.

**Figura 81 Cenário I de análise de suscetibilidade a deslizamentos.**

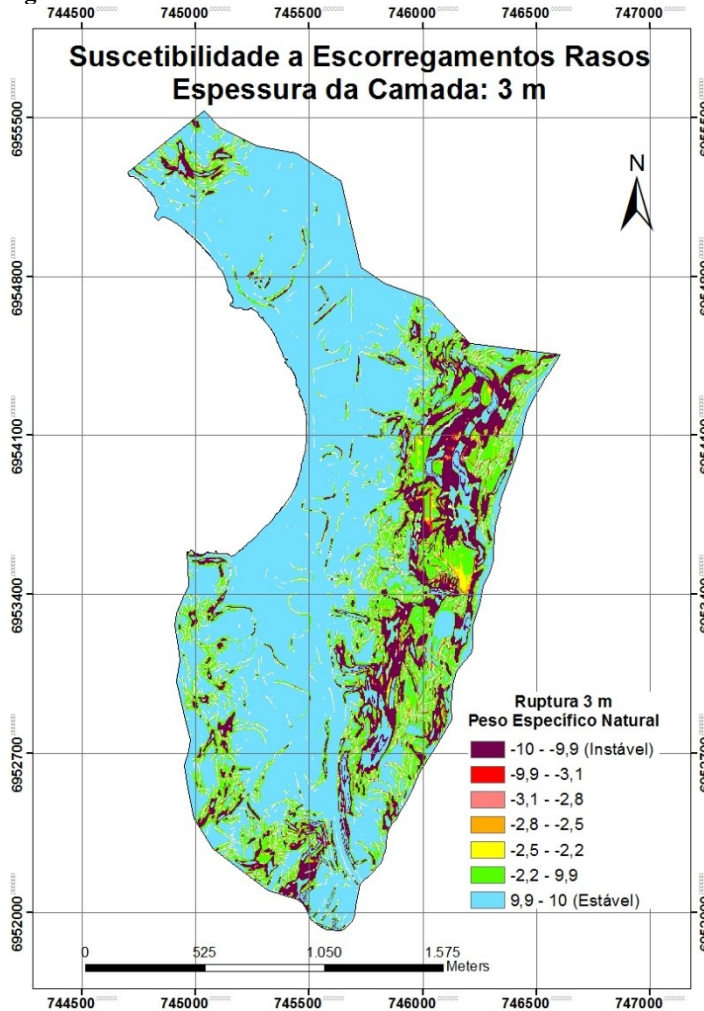


**Fonte: Elaborado pelo autor**

Este cenário apresenta-se quase todo como na condição estável. Chama a atenção, entretanto, os pontos incondicionalmente instáveis presentes na unidade PVg, que coincidem com as áreas escarpadas vistas no mapa de declividades, apresentado na Figura 48.



**Figura 82 Cenário II de análise de suscetibilidade a deslizamentos.**

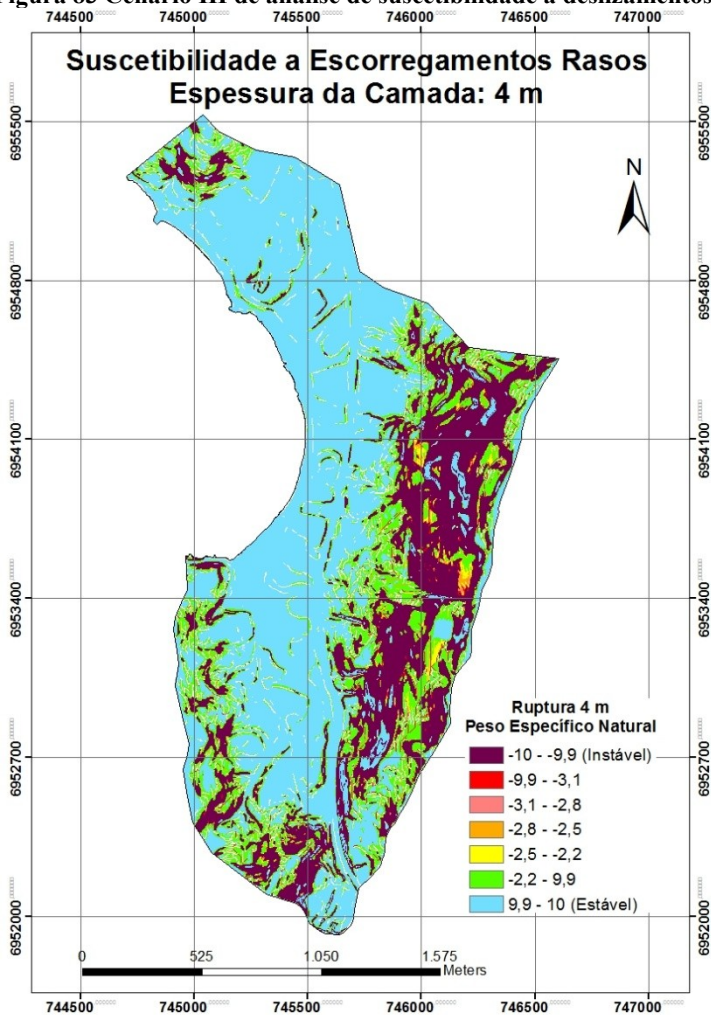


**Fonte: Elaborado pelo autor**

Neste cenário é bastante perceptível o aumento das condições incondicionalmente estável e não saturado  e incondicionalmente instável e não saturado , ainda acompanhando as declividades do terreno.



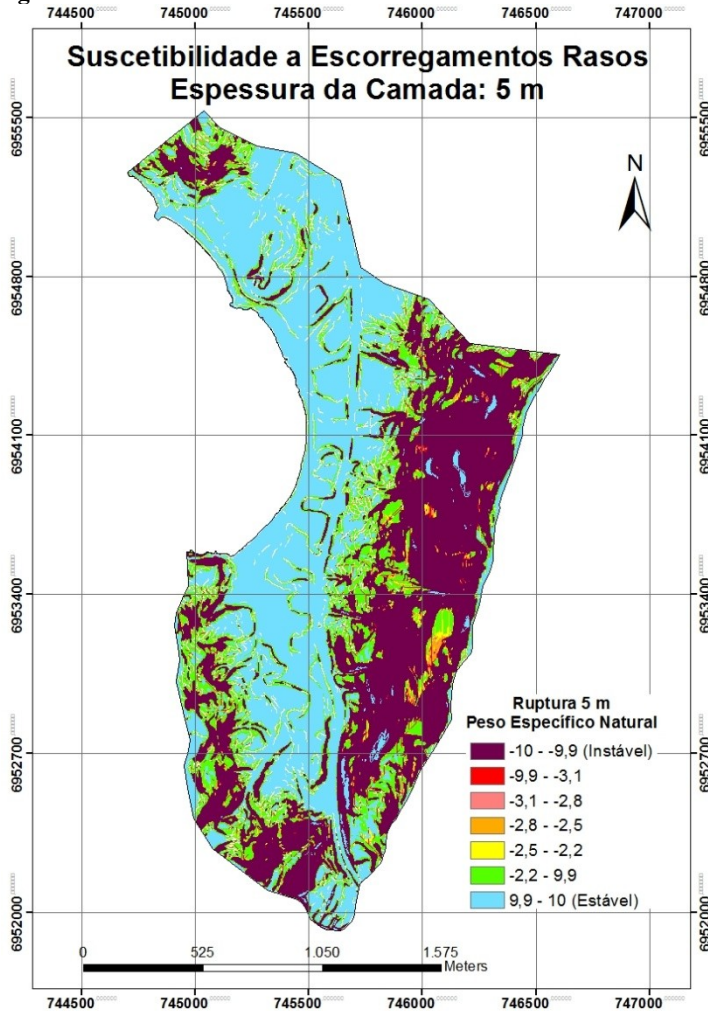
**Figura 83 Cenário III de análise de suscetibilidade a deslizamentos.**




**Fonte: Elaborado pelo autor**

Neste cenário temos um aumento principalmente da condição incondicionalmente instável e não saturado , sem alteração das demais.

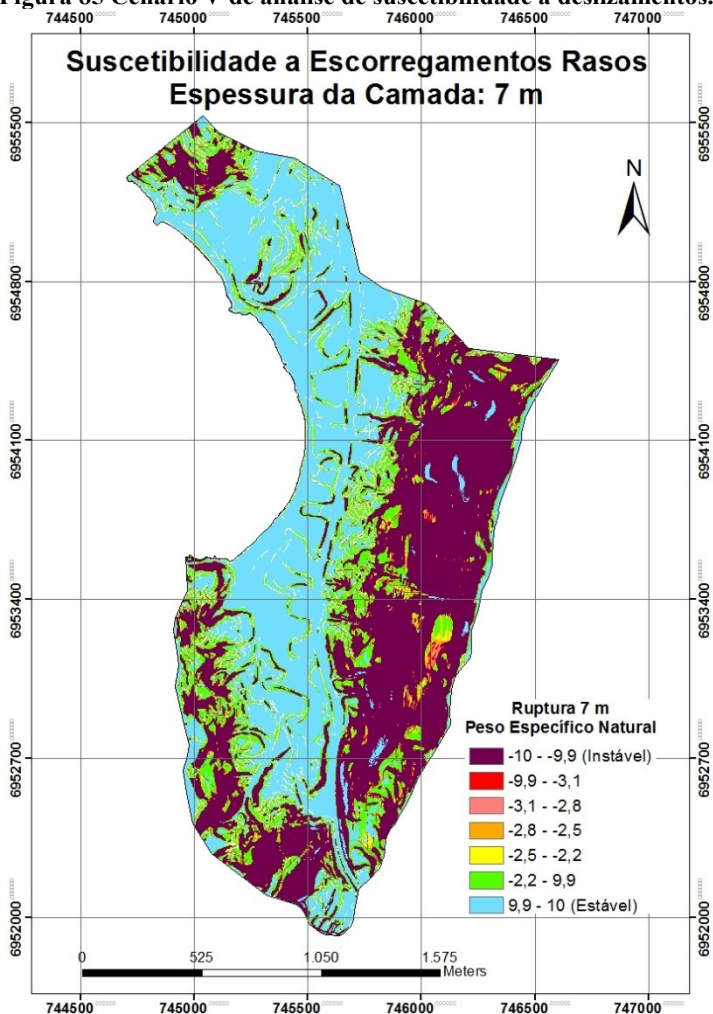
**Figura 84** Cenário IV de análise de suscetibilidade a deslizamentos.



**Fonte:** Elaborado pelo autor

Neste cenário já é visível a semelhança das classes de estabilidade com o mapa geológico, principalmente nos pontos de cota mais alta, ao sul e leste da bacia. Percebe-se também que a condição incondicionalmente instável e não saturado  aumenta significativamente, embora as demais não.

**Figura 85 Cenário V de análise de suscetibilidade a deslizamentos.**



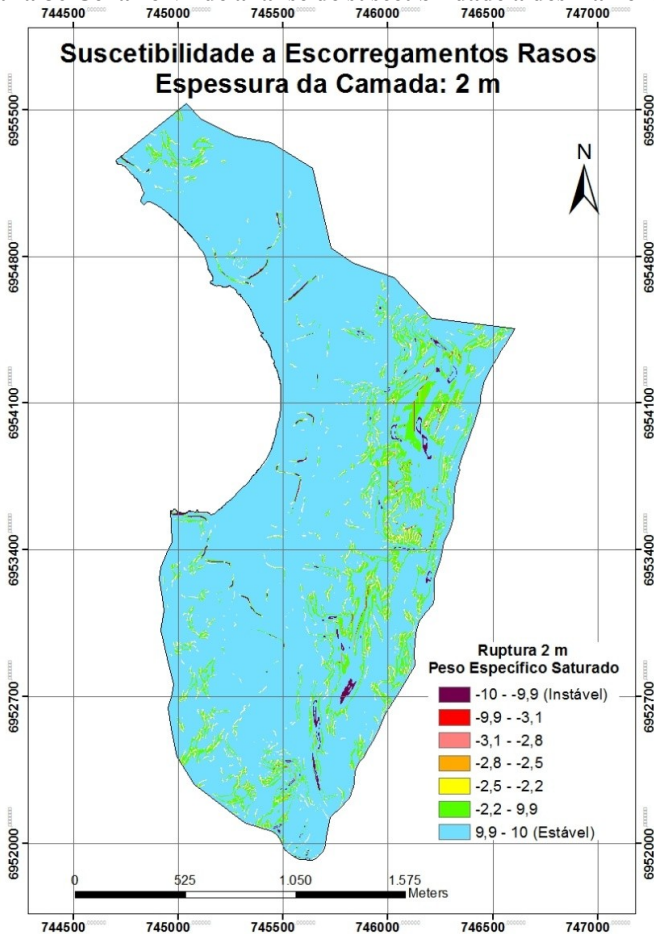
**Fonte: Elaborado pelo autor**

Este cenário não apresenta mudanças significativas em relação ao cenário anterior. É possível identificar, entretanto, que o corte da SC-401 no maciço ao sudeste se deu provavelmente numa área incondicionalmente instável e não saturado, ratificando a ideia de que a ação antrópica tem ligação direta com os escorregamentos da área.



No cenário V pode-se perceber também a delimitação do dique de diabásio identificado por Oliveira (2012) e apresentado na Figura 30, que já era visível também no mapa de declividades, com classes de declividades onduladas a forte onduladas.

O problema maior da região dos diques de diabásio é o grande fraturamento da rocha.

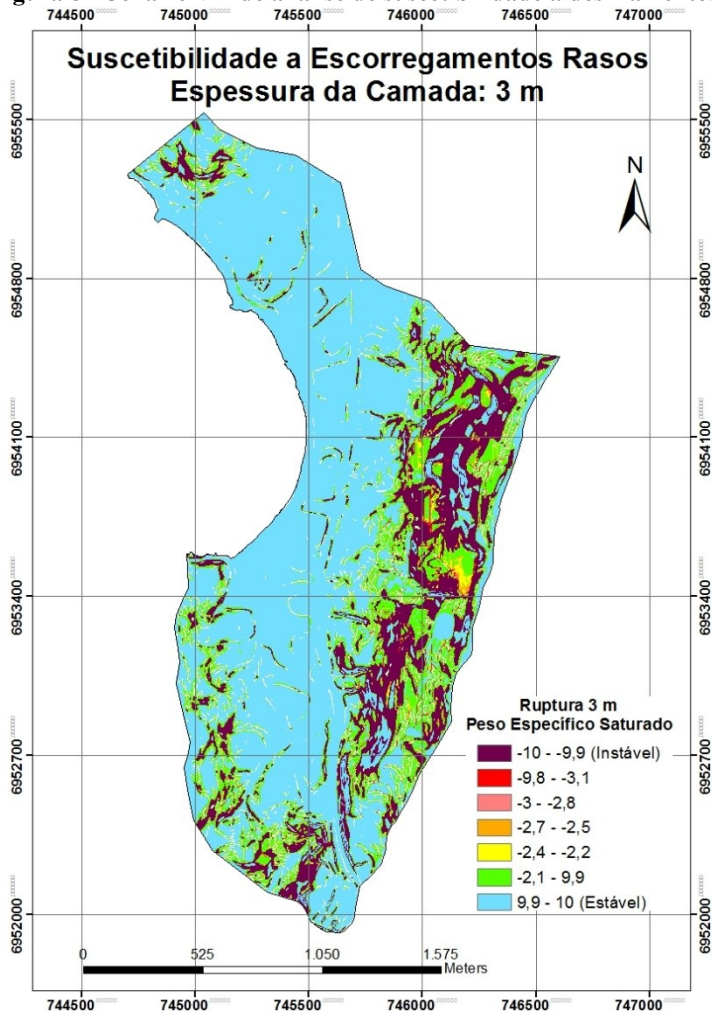
**Figura 86 Cenário VI de análise de suscetibilidade a deslizamentos.**



O cenário VI já inicia as análises de suscetibilidade levando em conta o peso específico saturado, ou seja, em condições mais

desfavoráveis. De fato, ao comparar-se a Figura 86 com a Figura 81, percebemos um aumento da situação incondicionalmente estável e não saturado  nos locais onde eram incondicionalmente estável e saturado .

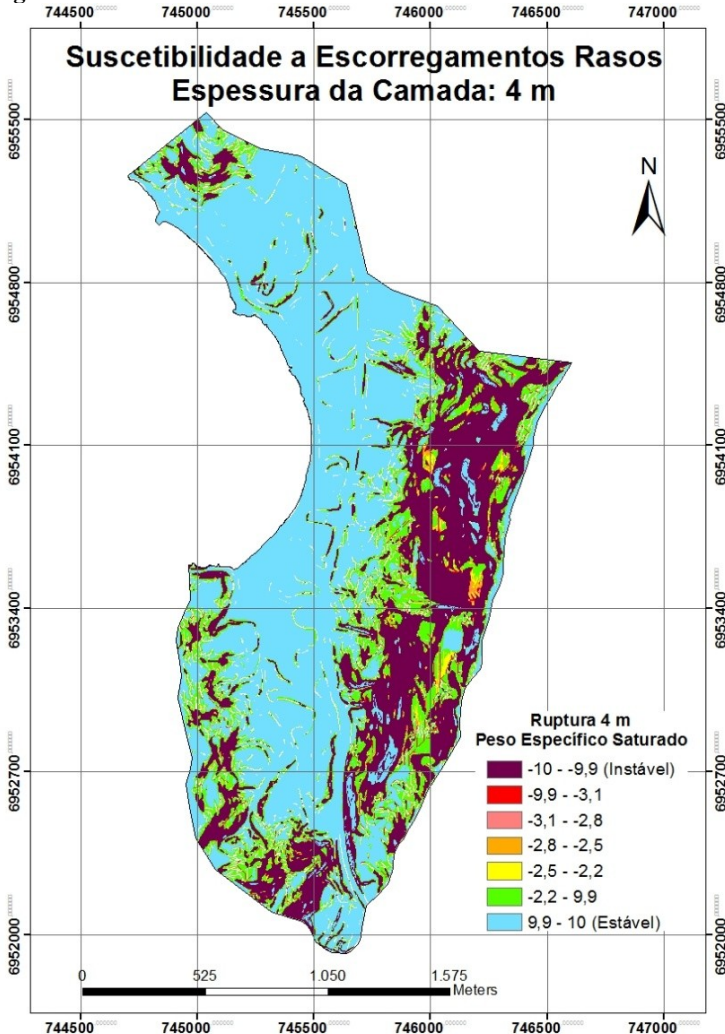
**Figura 87 Cenário VII de análise de suscetibilidade a deslizamentos.**



Fonte: Elaborado pelo autor

No cenário VII temos um aumento principalmente da situação incondicionalmente instável e não saturado ■ nas áreas onde antes eram incondicionalmente estável e não saturado ■. Esse aumento é proporcional ao ocorrido entre os cenários de mesma profundidade com o peso específico natural, apresentados na Figura 81 e Figura 82.

**Figura 88 Cenário VIII de análise de suscetibilidade a deslizamentos.**

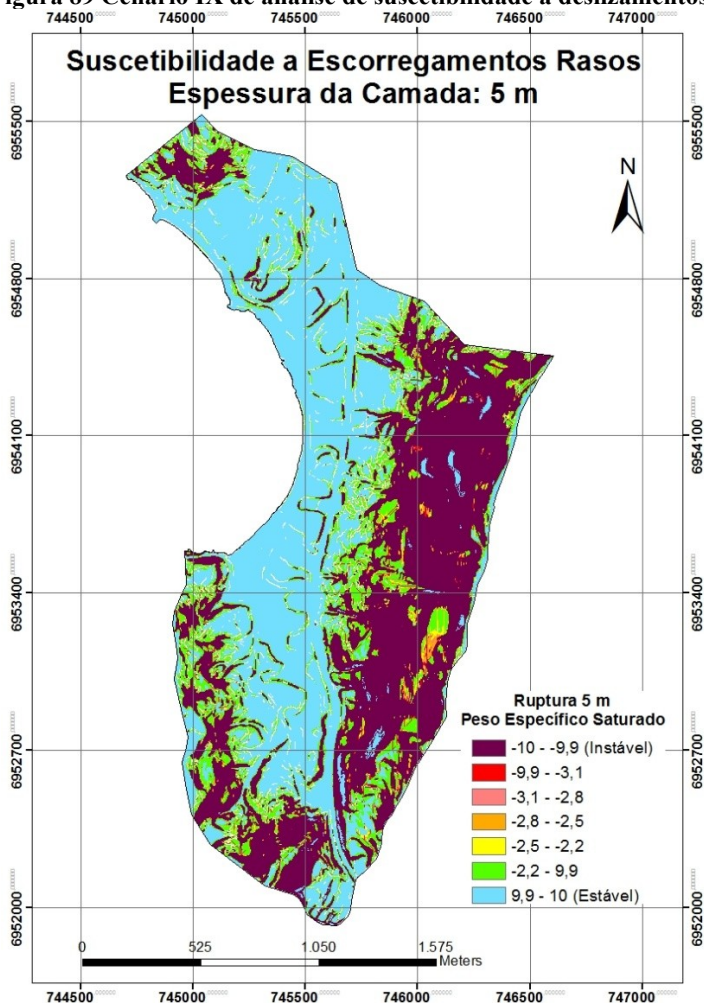


Fonte: Elaborado pelo autor



A partir do cenário VIII (peso específico saturado, profundidade 4 metro) temos um aumento quase que exclusivamente da situação incondicionalmente instável e não saturado nas áreas onde antes eram incondicionalmente estável e não saturado. Chama a atenção a proximidade, entretanto, entre esse cenário e o cenário III apresentado na Figura 83, de mesma profundidade, porém com peso específico natural.

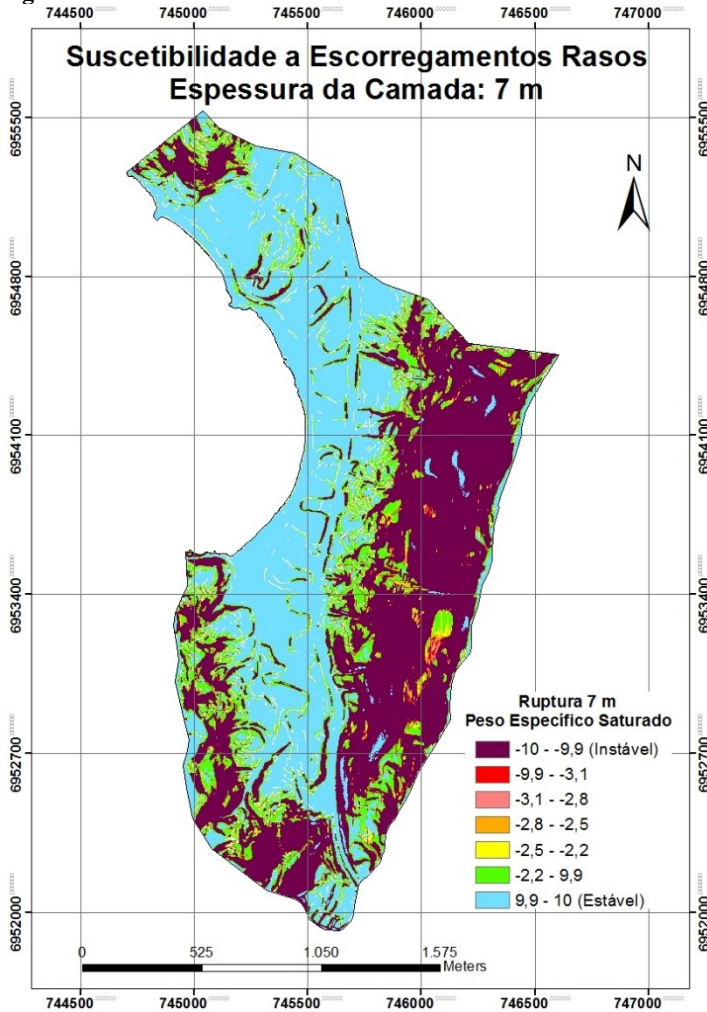
**Figura 89 Cenário IX de análise de suscetibilidade a deslizamentos.**



**Fonte: Elaborado pelo autor**

A partir dos 5 metros de profundidade, os cenários de peso específico saturado e peso específico natural se tornam iguais, sem diferenças visíveis entre si, nem alteração significativa das condições de instabilidade.

**Figura 90 Cenário X de análise de suscetibilidade a deslizamentos.**




Fonte: Elaborado pelo autor



De uma forma geral, pode-se dizer que a condição saturada apresenta resultados de maior instabilidade em relação a condição natural até os cenários com ruptura aos 4 metros de profundidade.

Verifica-se, entretanto, que as declividades e a unidade geotécnica PVg estão diretamente ligadas com a condição de instabilidade das encostas. Os cenários criados, principalmente a partir dos 4 metros de profundidade, demonstram uma grande possibilidade de futuros deslizamentos, preferencialmente nas áreas mais altas.

Outro ponto a se destacar é que os locais de situação incondicionalmente estável e saturado , como a SC-401, não estão necessariamente fora de perigo, uma vez que as análises aqui feitas abordam somente a suscetibilidade ao início do movimento de massa. Isso quer dizer que, após a deflagração do movimento, a massa de terra pode atingir esses locais, tais como os escorregamentos descritos no item 86, onde uma grande quantidade de terra atingiu a rodovia SC-401.



## 6. CONCLUSÕES

Após extensa revisão bibliográfica, metodologias utilizadas e análise de resultados, pode-se considerar que os objetivos iniciais foram atingidos satisfatoriamente.

O uso do software ArcGIS se mostrou indispensável na execução deste trabalho, uma vez que ele permite gerar, editar e integrar mapas georreferenciados. Através deste, a confecção do mapa preliminar das unidades geotécnicas, através da metodologia Davison Dias (1995) se tornou de fácil execução, uma vez que o mesmo se faz da junção de mapas topográficos, geológicos e pedológicos.

A unidade geotécnica presente nas áreas de elevações da bacia de Santo Antônio de Lisboa é a Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato Granito (solo residual), ao passo que nas áreas planas ocorrem Areias Quartzosas de Sedimentos Quaternários (solo sedimentar).

Os resultados dos ensaios de caracterização geotécnica foram satisfatórios e condizem com os resultados obtidos por outros autores.

O ensaio MCT, realizado através do método expedito das pastilhas, classificou os pontos principalmente com comportamento lateríticos, que possuem boas características para uso em obras de engenharia civil.

Pode-se correlacionar a densidade real dos grãos com a alta suscetibilidade à erosão dos solos estudados, frente a critérios apresentados por Pejon e Silveira (2007) e Higashi et al. (2012). Esta característica já era visualmente esperada, e apresentada em outros estudos.

As análises granulométricas demonstraram uma grande variação textural dos solos, com alguns pontos de maior concentração de argila e outros pontos compostos principalmente por areia grossa e pedregulho fino.

Os resultados dos limites de Atterberg caracterizaram os solos como medianamente plásticas e altamente plásticas, embora Raimundo (1998) alerte que esses resultados possam ser mascarados por concreções envoltas na fração arenosa dos solos.

Os ensaios de cisalhamento direto levaram a parâmetros de resistência próximos à estudos de outros autores, com coesão entre 3,62 kPa e 15,10 kPa, e ângulo de atrito entre 29,1° e 40,6°.

Os coeficientes de permeabilidade obtidos apresentaram valores entre  $10^{-4}$  e  $10^{-3}$ , característicos de solos de areia médias e grossas, de acordo com Caputo (1996). Esses valores, entretanto, não estão relacionados com a análise granulométrica e os índices de vazios obtidos nos ensaios deste trabalho. Os resultados deste ensaio podem ter sido afetados por veios argilizados ou pela dificuldade em moldagem dos corpos de prova.

As toposequências feitas com o DPL evidenciaram que a resistência não se eleva com a profundidade do solo, além de verificar a presença de nível freático apenas em alguns pontos, e sempre próximos ao impenetrável. Alerta-se que o impenetrável pode ser apenas um matacão, uma vez que a área estudada apresenta muitos afloramento de rochas e matacões.

Como esse trabalho visava mapear áreas com risco de deslizamento, este deve ser o item com maior interesse nos resultados. Para esta análise, foi utilizado o modelo SHALSTAB, de Dietrich e Montgomery (1998), o qual realiza análises de deslizamentos translacionais rasos.

Para isso, fez-se necessário gerar o modelo digital de elevações (MDE), o mapa de declividades, de direções de fluxo e de área de contribuição, além do uso dos parâmetros de resistência e caracterização para simular o comportamento das encostas.

As simulações foram realizadas em diferentes cenários, com cotas de rompimento de 2 m, 3 m, 4 m, 5 m e 7 m com peso específico natural e peso específico saturado. Com isso, simulou-se a pior condição natural do local.

Como resultado, percebeu-se muitas zonas instáveis, sempre associadas a declividade do terreno. Os locais de areias quartzosas, predominantemente planos, apresentaram bastante estabilidade, mesmo com baixos valores de resistência (coesão zero).

O mapa geotécnico e o mapa de suscetibilidade poderão ser usados como ferramentas para gestão do uso e ocupação do solo da área da Bacia de Santo Antônio de Lisboa, diminuindo o efeito antrópico como agente instabilizador, visto que a estabilidade natural do local carece de cuidados.

## 7. SUGESTÕES

Como sugestão para trabalhos complementares futuros, recomenda-se:

- Identificar e mapear os afloramentos de rocha, minimizando as áreas incondicionalmente instáveis;
- Correlacionar a permeabilidade do solo com a chuva crítica, a fim de identificar com maior precisão a possibilidade de escorregamentos frente a eventos pluviométricos;
- Realizar mais ensaios em mais pontos da bacia, caracterizando melhor os solos da região;
- Realizar ensaios de resistência de maior porte, eliminando os erros oriundos da granulometria grossa nos ensaios de pequenos porte;
- Correlacionar as áreas de instabilidade desse trabalho junto aos vetores de expansão urbana e mapa de uso de solo da região;
- Identificar melhor as intrusões de diabásio da região.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.  
**NBR 6457: Amostras de solo - Preparação para Ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização.** Rio de Janeiro, 1986. 9p.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.  
**NBR 6459: Determinação do Limite de Liquidez:** Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1984. 6p.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.  
**NBR 6502: Rochas e Solos.** Rio de Janeiro, 1995. 18p.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.  
**NBR 6508: Grãos de Solos que Passam na Peneira de 4,8mm:** Determinação da Massa Específica dos Grãos. Rio de Janeiro, 1984. 8p.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.  
**NBR 7180: Solo: Determinação do Limite de Plasticidade.** Rio de Janeiro, 1984. 3p.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.  
**NBR 7181: Solo: Análise Granulométrica.** Rio de Janeiro, 1984. 13p.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.  
**NBR 14545: Solo: Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável.** Rio de Janeiro, 2000. 12p.

ABREU, Ana Elisa Silva de. **Mapeamento geotécnico para gestão municipal:** abordagem combinando três métodos distintos e sua aplicação em Analândia (SP). 2007. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

ALVARENGA, Silvia Maria et al. GOVERNO FEDERAL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria geral. Projeto RadamBrasil. Boletim Técnico. Série Geomorfologia, Salvador/BA: [s.n.], n. 1P.187, out. 1984.

AMARAL, C. P. **Escorregamentos no Rio de Janeiro: inventário, condicionantes e redução do risco**. Tese de Doutorado, Eng. Civil, PUC-Rio. 1996.

ANDRADE, Jaqueline; AFONSO, Sonia. **Conjuntos Residenciais sobre Encostas: avaliação da utilização desta tipologia como solução habitacional no Morro da Cruz – Segunda Parte**, Florianópolis, SC. Relatório Final de Iniciação Científica CNPq. Florianópolis. UFSC, 2006.

ANDRADE, S.F. **Estudo de Estratégias Bioclimáticas no clima de Florianópolis**. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em Engenharia de Produção, na área de Ergonomia. UFSC, 1996.

ASTM D-3080 (D-3080/D3080M) - **Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions**. Developed by Subcommittee: D18.05.

ATLAS Ambiental Municipal – Florianópolis – SC – Brasil. UFSC – Grupo de Pesquisa – Grupo Gestão do Espaço (GGE) – Projeto Funcitec. 35p. 2006.

AUGUSTO FILHO, O. **Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica**, In: Conferência brasileira sobre estabilidade de encostas. Anais... Rio de Janeiro, v.2. p. 721-733, 1992.

BASTOS, G. Estudos em Sistemas de Informação Geográfica para o Mapeamento Geotécnico de Feira de Santana – BA. Dissertação de Mestrado em Geotecnia. UnB, Brasília, 1996

BASTOS, Graciane. **Estruturação de Banco de Dados a partir do Mapeamento Geotécnico Aplicado à Região de Ribeirão Preto (SP)**. Tese de Doutorado em Engenharia – Área Geotecnia. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2005, 306 p.

BEVEN, K. J. e KIRKBY M. J. **A physically based, variable contributing area model of basin hydrology / Un modèle à base physique de zone d'appel variable de l'hydrologie du bassin versant**.



Bulletin of the International Association of Scientific Hydrology, v. 24, n. 1, p. 43-69, 1979.

BEVILÁQUA, F. Z. **Estudo do comportamento geomecânico dos solos residuais de granito de Florianópolis**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2004, 117p.

BIM, Rodrigo. **Mapeamento de áreas de risco á escorregamento da microbacia do Ribeirão das Pedras – Ilha de Florianópolis**. Exame de Qualificação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. 2013.

BIM, Rodrigo. **Mapeamento de áreas de risco á escorregamento da microbacia do Ribeirão das Pedras – Ilha de Florianópolis**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC. No prelo 2014.

BIM, R.; STEIL, M.M.M.; HIGASHI, R.A. dos R. **Estimativas de unidades geotécnicas e características geomecânicas dos solos da microbacia formada pela elevação do Ribeirão das Pedras - Ilha de Florianópolis**. Simpósio de Prática de Eng. Geotécnica da Região Sul - GEOSUL (Seminário). 2012.

BORTOLOTI, Frederico Damasceno. **ArcGIS aplicado a bacias hidrográficas**. Laboratório de Topografia e Cartografia – LTC. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória. 97 slides. Disponível em: < [http://www.ltc.ufes.br/gisbasins/Aula\\_06.pdf](http://www.ltc.ufes.br/gisbasins/Aula_06.pdf)>. Acesso em: 16 de abril de 2014. Apresentação em Power Point.

BRABB, E. E.; PAMPEYAN, E. H.; BONILLA, M. G. **Landslide susceptibility in San Mateo County, California, scale 1:62,500**. USGS Miscellaneous Field Studies Map: MF-360. 1972.

Brasil. Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios / Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura, organizadores** – Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007.

BRUNSDEN, D.; DOORNKAMP, J. C.; FOOKES, P. G.; JONES, D. K. C.; KELLY, J. M. H. **Large scale geomorphological mapping and highway engineering design**. Quart. Journ. Eng. Geol., 8: 227-253. 1975.

CABALLERO, M. **Evolución Histórica de los Mapas Geotécnicos**. In: BOLETÍN GEOLÓGICO Y MINERO, Espanha, 1973.

CÂMARA, G. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográficas: Visão Atual e Perspectivas de Evolução**. In: ASSAD, E., SANO, E., ed. "Sistemas de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura". Brasília, DF. Embrapa, 1993.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M.; D'ALGE, J.C. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos/SP, INPE. 2001.

CÂMARA, G. et al. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. 193p. 1996.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações**. Rio de Janeiro: LTC, 6ª edição, 1996. 234p.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações: vol. 1 – Fundamentos**. Rio de Janeiro: LTC, 1988.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações: vol. 2 – Mecânica das rochas**. Rio de Janeiro: LTC, 1987.

CARAMEZ, M. L. **Análise da suscetibilidade a escorregamentos de encostas de duas micro bacias de Florianópolis através do Modelo SHALSTAB**. Tese de Conclusão de Curso em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. 2011.

CARUSO JR., Francisco. **Mapa geológico da Ilha de Santa Catarina**. Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Notas Técnicas nº 6. Porto Alegre, 1993.

CARVALHO, M. S.; PINA, M.F. de; SANTOS, S. M. dos; **Conceitos Básicos de Informação Geográfica e Cartografia Aplicados à Saúde**.

Rede Interagencial de Informações para a Saúde (RIPSA). Brasília, 2000, 122p.

CASTRO, Antônio Luiz Coimbra de. **Manual de desastres: desastres naturais**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2003. 174 p.

CEPED/UFSC. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Capacitação Básica Em Defesa Civil- Livro Texto para Educação a Distância. Florianópolis, 2011.

CHUNG, C. F.; FABBRI, A. G. **Multivariate regression analysis for landslide hazard zonation**. In A. Carrara, A. e, Guzzetti, F. (eds.) Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht: 107-142. 1995.

DANA, J. D. **Manual of Geology**. Philadelphia. 1862.

DAS, Braja M. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. 6 ed. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

DAVISON DIAS, R. **Proposta de metodologia de definição de carta geotécnica básica em regiões tropicais e subtropicais**. In: Revista do Instituto Geológico, São Paulo, SP, 1995, p.51-55.

DAVISON DIAS, R. **Proposta de uma metodologia de estudos geotécnicos para implantação de rodovias, estradas rurais e vicinais em solos brasileiros**. In: Reunião Anual de Pavimentação, Florianópolis, SC, 2001, Anais.

DIAS, F. P.; HERMANN, M. L. P. Suscetibilidade a deslizamentos: estudo de Caso no Bairro de Saco Grande, Florianópolis-SC. **Caminhos de Geografia**, v.3, n.6, p.57-73, 2002.

DIETRICH, W. E.; MONTGOMERY, D. R. **SHALSTAB: a digital terrain model for mapping shallow landslide potential**. NCASI (National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement), Technical Report, 1998, 29 p.

DIETRICH, W. E.; REISS, R.; HSU, M.-L.; MONTGOMERY, D. R. **A process-based model for colluvial soil depth and shallow landsliding using digital elevation data**. Hydrological Processes, 9: 383-400. 1995.

DIN 4094. Taschenbuch. Erkundung und Untersuchung des augrunds. Beuth, Alemanha, 12p. 1991.

DUARTE, S. B. **Utilização de Sistema de Informações Geográficas na Análise do Meio Físico e do Uso do Solo na Lagoa da Conceição - Florianópolis; Florianópolis, 1999**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro Nacional de Pesquisa de Solos – Ministério de Agricultura e Abastecimento. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Serviço de Produção de Informação, SPI, Brasília, DF, 1999, 411p.

ESRI. **Arc View User's Guide**. EUA : Redlands, 1992.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P.; **Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica**. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). Geomorfologia e meio ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

FERNANDES, N. F. et al. Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 51-71, out. 2001.

FLORIANOPOLIS, Prefeitura Municipal. **Plano Integrado de Saneamento Básico – PMISB**. Produto 2. MPB Engenharia. Abril de 2009. 91p.

FLORIANÓPOLIS. IPUF. **Atlas do município de Florianópolis**. Coordenação de Maria das Dores de Almeida Bastos. Florianópolis: Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis: Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis, 2004. 166p.

FLORIANÓPOLIS. IPUF. **Mapeamento Temático do Município de Florianópolis**. Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis, 1991.

FRANÇA Jr, R. T. de., **Levantamento de Dados e Informações para Mapeamento Geotécnico da Área Urbana de Joinville**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.

FREIRE, E. P. **Estabilidade de taludes naturais em solos nos morros da cidade de Santos**. Brasília, 1995. 108 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil. 1995.

GEORIO – INSTITUTO DE GEOTECNIA DO MUNICIPIO DO RIO DE JANEIRO. **Manual Técnico de Encostas – Análise e Investigação**. Rio de janeiro, 2000.

GODOY, H.; BERNUCCI, L. B.; NOGAMI, J. S. **Diretrizes para a identificação expedita de solos lateríticos para uso em obras viárias**. In: 30ª Reunião Anual de Pavimentação, Salvador, 1996, Anais... ABPV, v.2, p.557-568.

GUEDES JUNIOR, Alexandre. **Áreas de proteção ambiental para poços de abastecimento público em aquíferos costeiros**. 2005. 184p. **Tese** (doutorado). Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2005.

GUESSER, Luiz Henrique. **Elaboração do mapa geotécnico preliminar e mapa de áreas suscetíveis a movimentos de massa do município de Antônio Carlos-SC** / Luiz Henrique Guesser ; orientador, Rafael Augusto dos Reis Higashi – Florianópolis, SC, 2013. 142 p.

GUIMARÃES, R. F. et al. **Aplicação do modelo SHALSTAB para determinação de áreas de risco a escorregamentos rasos em regiões tropicais**. XIX Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. ABGE, São Paulo, Águas de São Pedro, CD-ROM. 1999.

GUIMARÃES, R. F. et al. **Application of the SHALSTAB model for mapping susceptible landslide areas in mine zone (Quadrilátero Ferrífero in southeast Brazil)**. Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2003, p.2444-2446 vol.4.

GUZZETTI, F.; CARRARA, A.; CARDINALI, M.; REICHENBACH, P. **Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy**. Geomorphology, 31: 181-216. 1999.

HEARN, G. J. **Terrain hazard mapping at Ok Tedi mine, Papua New Guinea**. 6th International Symp. on Landslides, A. A. Balkema, Christchurch: 971-976. 1992.

HIGASHI, R. A. R.; DAVISON DIAS, R.; MACCARINI, M. **On the erosive potential of some weathered soils from southern Brazil**. Soils and Rocks, São Paulo, 2012, p. 219-225.

HIGASHI, R. R.; DAVISON DIAS, R.; MAFRA JR. C. S.; COELHO. D. A.; MARTINS, K. P. **Análise do Subsolo de Santa Catarina Visando a Implantação de Rodovias**. Reunião Anual de Pavimentação. Florianópolis. 2001

HIGASHI, R. A. R.; FERNANDES, B.; REINKE, E.; MACHADO, G.; CAPINHEIRA, J.; NIEHUES, R. **Estudo de jazida de areia quartzosa podzolizada e cambissolo do município de Florianópolis**. In: 34ª Reunião Anual de Pavimentação, Campinas – SP, 2003.

HIGASHI, Rafael Reis. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. **Utilização de um SIG no desenvolvimento de um banco de dados geotécnicos do norte do estado do Rio Grande do Sul**. Florianópolis, 2002. 143 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

HIGASHI, R. R. **Metodologia de Uso e Ocupação dos Solos de Cidades Costeiras Brasileiras Através de SIG com Base no Comportamento Geotécnico e Ambiental** – Tese de Doutorado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Infraestrutura Viária. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 485p, 2006.

HIGASHI, R. R.; GONÇALVES, A.; LIMA, T. L.; SPRICIGO, T.; DAVISON DIAS, R. **Ensaio de erodibilidade em elevações graníticas do município de Tubarão**. In: GEOSUL – IV Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul, Curitiba – PR, 2004. ABMS, p.155-161.

HIGASHI, R. R.; SPRICIGO, T. **Análise radial dos solos da zona urbana do município de Ipumirim: previsão de expansão da malha viária urbana**. In: Reunião Anual de Pavimentação Urbana, Aracaju – SE, 2003.

HIGHLAND, Lynn M.; BOBROWSKY, Peter. **The landslide handbook: A guide to understanding landslides**. Reston, Virginia, EUA. Geological Survey, 2008. 129 p.

HUTCHINSON, J. N. **General report: morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology**. 5th International Symposium on Landslides. A. A. Balkema, Lausanne: 3-35. 1988.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sinopse do Censo Demográfico 2010**. 2010. Disponível em: <[www.ibge.gov.br/estadosat/temas.php?sigla=sc&tema=sinopse\\_censod\\_emog2010](http://www.ibge.gov.br/estadosat/temas.php?sigla=sc&tema=sinopse_censod_emog2010)>. Acesso em: 15 de abril de 2013.

INPE. (2006) **SPRING: Tutorial de geoprocessamento**. São José dos Campos/SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial>> Acesso em 30 de novembro de 2013.

ISSMFE. International Reference Test procedure for dynamic probing (DP). Report of the ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing of Soils – TC 16 with Reference Test Procedures. . Swedish Geotechnical Society, 49 p. 1989.

LARA, A. A.; MARQUES, E. A. G.; ALMEIDA, L. C. R. **Mapeamento de risco de acidentes associados a escorregamentos - Morro da Serrinha, Rio de Janeiro, Brasil**. 2ª Conf. Bras. sobre Estabilidade de Encostas (2ª COBRAE). ABMS, ABGE e ISSMGE, Rio de Janeiro: 837-845. 1997.

LEROI, E. **Landslide risk mapping: problems, limitations and developments**. In Cruden, D.M. e Fell, R. (eds.) *Landslide Risk Assessment*. Balkema, Rotterdam: 239-250. 1997.

MAFRA JR, Celso da Silva. **Elaboração do mapa preliminar de unidades geotécnicas do município de Brusque associado a um banco de dados geotécnico em ambiente de SIG**. Florianópolis, 2007, 123 pg.

MARCELINO, Emerson Vieira. **Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos Básicos**. Caderno Didático nº 1. Santa Maria: INPE/CRS, 2008. 39 p.

MASSAD, Faíçal. **Obras de Terra**. 1º edição; Editora: Oficina de textos: São Paulo/SP, 2003.

MICHEL, G.P.; KOBAYAMA, M.; GOERL, R.F. **Análise comparativa entre os modelos shalstab e sinmap na identificação de áreas susceptíveis a escorregamentos translacionais**. In: X Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos (2012: Foz do Iguaçu) Foz do Iguaçu: ENES, Anais, 21p., 2012.

MICHEL, Gean Paulo. **Modelagem de estabilidade de encostas com consideração do efeito da vegetação**. 2013

MIRANDA, J. G. de. **Mapeamento Geotécnico e estudo de susceptibilidade à erosão na bacia do Ribeirão Ponte de Pedra (MT), escala 1:100.000**. Tese de Doutorado em Geotecnia Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo – EESC/USP. São Carlos, 2005. 278p.

MIRANDA, José Iguelmar. **Fundamentos de sistemas de informações geográficas**. 2ed, ver. E atual. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2010, 433p.

MIRANDA, T. C. **Mapeamento das Unidades Geotécnicas e Desenvolvimento de um Sistema de Informações Geográficas para a Área de Abrangência da Rodovia BR-101/RS**. Porto Alegre, 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Área: Geotecnia) –



Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 148p.

MONTGOMERY, C. W.. **Environmental Geology**. 3ª Ed. Dubuque: Wm. C. Brown Publishers, 1992. 465p.

MONTGOMERY, D. R.; DIETRICH, W.E. **A physically based model for the topographic control on shallow landsliding**. Water Resources Research, 30: 1153-1171. 1994.

NEULAND, H. **A prediction model of landslips**. Catena, 3: 215-230. 1976.

NOGAMI, J. S.; BERNUCCI, L. L. B.; VILLIBOR, D. F. **Contração de solos arenosos finos lateríticos: simplificações para a escolha desses solos para bases de pavimentos de baixo custo**. In: 29ª Reunião Anual de Pavimentação, Anais, Cuiabá, 1995, ABPv, v.1, p.345-363.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. **Importância e determinação do grau de laterização em geologia de engenharia**. In: 8º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, Anais, Rio de Janeiro, ABGE, 1996, v.1, p.345-358.

NOGAMI, J.S.; VILLIBOR, D.F. **identificação expedita dos grupos da classificação MCT para solos tropicais**. In: X COBRAMSEF, Foz do Iguaçu. Anais... São Paulo, ABMS, 1994, v.4, p.1293-1300.

OLIVEIRA, O. M. de; BIM, R.; ESPÍNDOLA, M. **Aspectos Geotécnicos do Escorregamento de Encosta da Rodovia SC-401/Florianópolis**. Florianópolis, 2012.

O'LOUGHLIN, E. M. **Prediction of surface saturation zones in natural catchments by topographic analysis**. Water Resources Research, v. 22, n. 5, p. 794-804, 1986.

PAREDES, Evaristo Atencio. **Sistema de Informação Geográfica – Geoprocessamento: princípios e aplicações**. São Paulo. Ed. Erica, 1994. 675p.

PEJON, O. L.; SILVEIRA, L.L.L. **Index properties to predict erodibility of tropical soils**. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2007, v. 66, n° 2.

PINTO, Carlos de Souza. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas**. Oficina de Textos, São Paulo, 2000.

Pinto, Inês. **Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG)**. Instituto de Investigação Científica Tropical – IICT. Lisboa, 2009. 37 slides. Disponível em: <[http://www.idcplp.net/archive/doc/georrefIntroducaoSIG\\_InesPinto.pdf](http://www.idcplp.net/archive/doc/georrefIntroducaoSIG_InesPinto.pdf)>. Acessado em 03/12/2013. Apresentação em PowerPoint.

PMISB. FLORIANOPOLIS, Prefeitura Municipal. **Plano Integrado de Saneamento Básico – PMISB**. Produto 2. MPB Engenharia. Abril de 2009. 91p.

PROSUL. Seminários Técnicos de Planejamento e Mobilidade Urbana – Geologia da Ilha de Santa Catarina. 2012. Disponível em <[http://www2.spg.sc.gov.br/fmanager/spg/projetos\\_gerencia/arquivo328\\_1.pdf](http://www2.spg.sc.gov.br/fmanager/spg/projetos_gerencia/arquivo328_1.pdf)>. Acesso em: 25 de abril de 2014.

QUEIROZ, Rudney C. **Geologia e geotecnia básica para engenharia civil**. São Carlos: RiMa, 2009. 406p.

RAIMUNDO, Huri Alexandre. **Aspectos Geotécnicos e Pluviométricos Associados a Instabilidade de Encostas em Florianópolis – SC**. Florianópolis, 1998, 325p. – UFSC, CPGEC, Santa Catarina.

RAMOS, V. M.; GUIMARÃES, R. F.; REDIVO, A. L.; GOMES, R. A. T.; FERNANDES, N. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. **Aplicação do modelo SHALSTAB, em ambiente ArcView, para o mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamento raso na região do Quadrilátero Ferrífero (MG)**. Espaço & Geografia, Brasília, v.5, n. 1, p. 49-67, 2002.

REOLON, C.A. **Geotecnologias à cartografia temática: fundamentos e iniciação** – IBGE online, Estacart e DIVA-GIS/Cleverson Alessander Reolon. Marechal Candido Rondon, 2008. 99p.

RIVERO, R. **Arquitetura e Clima**. Editora D.C. Luzzatto Editores Ltda. 1985.

RODRIGUES, Valéria Lopes **Mapeamento geotécnico como base para o planejamento urbano e ambiental**: Município de Jaú/SP. 2008. Dissertação de Mestrado em Geotecnia – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

ROSNIECEK, A. IMAI, H. N. **Análise de áreas suscetíveis a deslizamentos rasos da bacia do Rio Ratonés – aplicação do modelo SHALSTAB**. Tese de Conclusão de Curso em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. 2013.

SANTOS, G. T. **Integração de informações geológicas, pedológicas e geotécnicas aplicadas ao uso do solo urbano em obras de engenharia**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.

SANTOS, M. R. G. **Aplicação de métodos de geoprocessamento para o estudo da instabilidade de encostas no Município de Teresópolis - RJ**. Tese de Mestrado, Depto. de Geologia, UFRJ. 2000.

SELBY, M. **Hillslope Materials and Processes**. Oxford University Press, Oxford, 289p. 1993.

SHARPE, C.F.S. **Landslide and Related Phenomena**. Columbia University press, New York. 1938.

SILVA, A. B. **Sistemas de Informações Georreferenciadas: conceitos e fundamentos**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 1999.

SOUZA, Célia Regina de Gouveia et al. **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. 1Ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 196 p.

THIVES, Liseane Padilha; TRICHÊS, Glicério. **A sustentabilidade na mobilidade**. 2009, p62-91. Notas de Aula. Impresso.

UNESCO – IAEG. **Engineering Geological Maps**. A Guide to Their Preparation. Paris : The unesc press, 79p. 1976.

VALENTE, A. L. S. **Banco de Dados por Meio de Geoprocessamento para a Elaboração de Mapas Geotécnicos, Análise do Meio Físico e suas Interações com a Mancha Urbana de Porto Alegre**. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1999, 391p.

VAN WESTEN, C. J. **Application of geographic information system to landslide hazard zonation**. ITC Publication, Enschede, The Netherlands, 15: 245p. 1993.

VARNES, D. J. **Landslides types and processes**. In Eckel, E.B. (ed.) *Landslides and Engineering Practice*. National Academy of Science, Washington: 20-47. 1958.

VARNES, D. J. **Landslides, analysis and control**. Special Report 176, National Academy of Sciences, cap. II, 1978.

VEDOVELLO, Ricardo; MACEDO, Eduardo Soares de.

**Deslizamentos de encostas**. Em: Santos, R. F. Organizador.

**Vulnerabilidade ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007. 192 p.

WIECZOREK, G. F. **Preparing a detailed landslide-inventory map for hazard evaluation and reduction**. Bulletin Association of Engineering Geologists, 21: 337-342. 1984.

WOLLE, C. M. **Análise dos escorregamentos translacionais numa região da Serra do Mar no contexto de uma classificação de mecanismo de instabilização de encostas**. Tese (doutorado). Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, São Paulo. 406p. 1988.

WU, W.; SIDLE, R. C. **A distributed slope stability model for steep forested basins**. Water Resources Research, 31: 2097-2110. 1995.

ZUQUETTE, L. V. **Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras**. Tese de Doutorado em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987, 3v., 657p.

ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI, N. **Cartografia Geotécnica**. São Paulo: Oficina de Texto. 190p, 2004.

ZUQUETTE, L. V. ; GANDOLFI, N. **Proposta de sistemática para mapeamento geotécnico regional em pequenas escalas.** In: 6º Simpósio Regional de Geologia, 1987, Rio Claro/SP. 2, 1987. v. 2. p. 431-436. 1987.